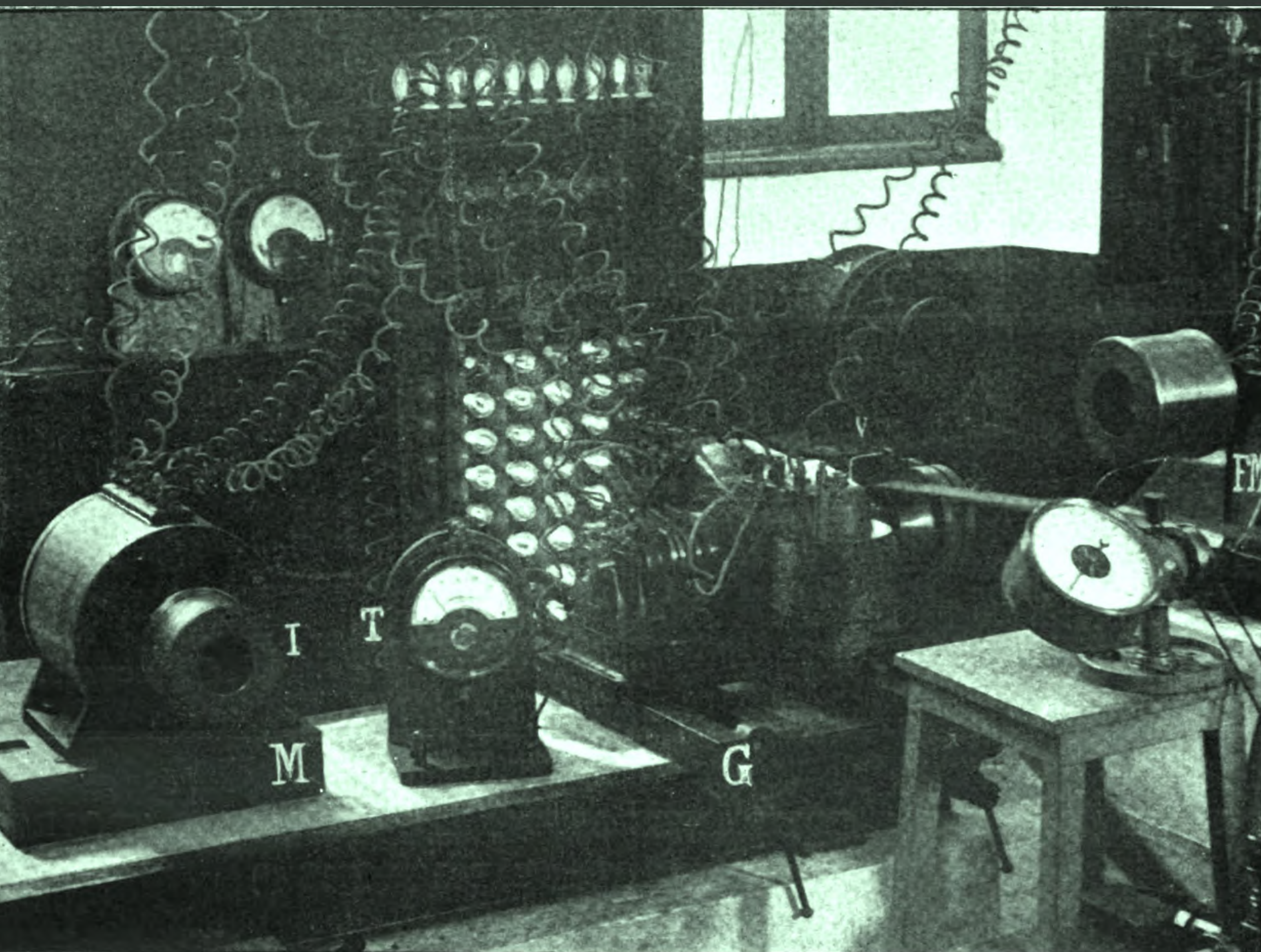
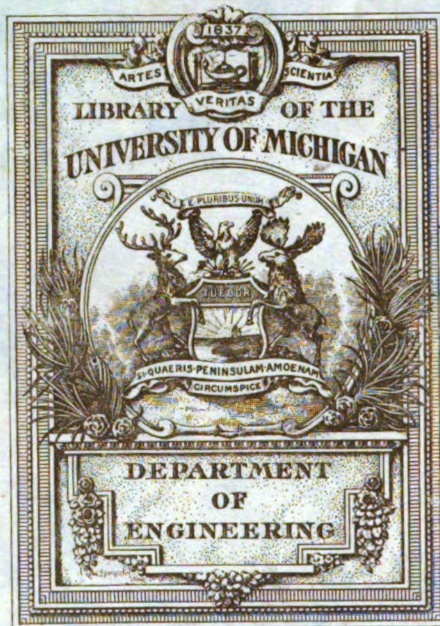


La Lumière électrique


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

TOME XIII

4e TRIMESTRE 1897

PARIS

GEORGES CARRÉ ET C. NAUD, ÉDITEURS

3 RUE RACINE, 3

Tome XIII. Samedi 2 Octobre 1897 4e Année. — N° 40.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS EXPÉRIMENTALES DES DIVERSES ÉNERGIES [1]

1. *Force vive.*— D'après un théorème bien connu de mécanique, si à un corps, primitivement au repos, on applique un système de forces qui produit sur lui, *sans le déformer*, un travail T, ce corps acquiert une force vive $W = \frac{1}{2} \Sigma mv^2$ égal à ce travail : W = T [1].

Au point de vue physique, la force vive W d'un corps est répartie dans ses divers éléments de volume suivant une loi bien déterminée; car, là où existe une portion m de la masse de ce corps animée d'une vitesse v, il y a aussi une portion $\frac{1}{2} m v^2$ de la force vive totale. Si après le travail T le corps, un corps solide par exemple, n'est soumis qu'à des forces se faisant équilibre, il continue à se mouvoir *en emportant avec lui sa force vive* W *qui reste constante.*

Aucune de ces propriétés physiques de la force vive n'appartient au travail T, qui n'est qu'un équivalent numérique de la valeur W de la force vive.

2. *Chaleur.* — Joule est le premier qui, par des expériences précises, a vérifié l'exactitude d'une loi énoncée par lui-même et par d'autres savants, d'après laquelle le travail T d'une force peut créer une quantité Q de chaleur proportionnelle à T :

$$T = EQ. \qquad (1)$$

Le coefficient E, appelé *équivalent mécanique de la chaleur*, ne dépend point de la nature des corps employés. Joule l'a démontré en mesurant : 1° le travail du frottement que les palettes d'une roue, tournant autour d'un axe vertical, exerçaient sur le liquide d'un calorimètre dans lequel la roue était plongée; 2° la chaleur développée dans le calorimètre par le frottement. Il a employé comme liquides l'eau et le mercure. Il a en outre déterminé la quantité de chaleur dégagée par le travail du frottement de la fonte sur la fonte. Il a trouvé pour E des nombres très voisins de 425, chiffre qu'il a adopté.

D'après ces expériences et celles de beaucoup d'autres savants, on admet qu'il faut un travail de 425 kgm pour créer une calorie. Les physiciens simplifient la formule (1) en égalant à 1 le coefficient E :

$$T = Q. \qquad (2)$$

[1] Nous emploierons quelquefois, surtout en électricité et magnétisme, des formules mathématiques qui peuvent se démontrer rigoureusement, et dont nous supprimons néanmoins la démonstration lorsqu'elle comporte des calculs trop compliqués.

[1] Nous adoptons la définition de la force vive donnée par M. Sarrau dans son Cours de mécanique à l'École Polytechnique.

ce qui oblige à prendre une unité de chaleur équivalente à l'unité de travail. Si celle-ci est égale à 1 kgm, l'unité de chaleur sera $\frac{1}{425^e}$ de calorie.

Citons encore l'expérience bien connue de Hirn, dans laquelle un cylindre de plomb, écrasé entre un marteau et une enclume, s'échauffe, la quantité Q de chaleur qui y est développée étant mesurée dans un calorimètre. L'excès de la force vive initiale W du marteau (avant le choc) sur la force vive finale W′ du marteau, du plomb et de l'enclume (après le choc) étant connu en kilogrammètres, et Q donné en calories, l'expérience [1] a donné : $W - W' = 425\,Q$. Il n'y a donc pas, en surplus de la chaleur dégagée, ce que l'on convient d'appeler un *travail moléculaire*, malgré la grande déformation du plomb.

3. *Notion de l'énergie*. — L'accroissement *d*Q de chaleur fourni à un corps jouit, comme la force vive, de la propriété d'être localisé dans les divers éléments de volume de ce corps, suivant une loi bien déterminée. Si le corps se meut, on peut considérer chaque élément de volume comme emportant avec lui sa chaleur. A ce transport de chaleur se superpose, il est vrai, l'échange spontané de chaleur entre diverses parties du corps si la température n'y est pas uniforme. Mais cet échange est le même que si le corps était au repos.

Dans le système d'unités caractérisé par la formule (2) du § 2, l'unité de chaleur est l'équivalent de l'unité de travail et de l'unité de force vive. Le résultat de l'expérience de Hirn s'écrit :

$$\delta W + \delta Q = 0 \qquad (1)$$

δW désignant la variation $W' - W$ de la force vive des corps en jeu. Tant que dans un ensemble A de corps, une perte de force vive et un gain égal de chaleur interviennent seuls, on peut donc écrire :

$$W + Q = \text{constante}. \qquad (2)$$

Une perte $-\delta Q$ de chaleur peut aussi être employée à créer un gain δW de force vive égal à $-\delta Q$ (machine à vapeur). Cette transformation de chaleur en force vive est régie par l'équation (1) ci-dessus, comme la transformation inverse.

En raison des propriétés physiques communes à la force vive et à la chaleur, de la transformation de l'une en l'autre et de leur mode commun d'évaluation numérique indiqué par les formules (1) et (2) ci-dessus, on a créé pour elles un même nom, celui d'*énergie*.

Si des forces extérieures quelconques appliquées aux corps du système A produisent un travail δT *sans déformer ces corps*, pendant que W et Q varient de δW et de δQ, la formule (1) sera complétée ainsi :

$$\delta W + \delta Q = \delta T. \qquad (3)$$

Le travail δT des forces est l'équivalent numérique d'une énergie ; mais il n'est pas de l'énergie, car il ne possède aucune des propriétés physiques de celles-ci.

4. *Énergie élastique*. — Tous les corps sont élastiques. La théorie mathématique de l'élasticité des corps solides est fondée sur une loi expérimentale très simple. Lorsqu'un corps se déforme, par exemple s'allonge ou se raccourcit sous l'action de forces extérieures appliquées à sa surface sans produire de force vive, sa déformation est proportionnelle à la grandeur des forces, pourvu qu'elle ne dépasse pas ce qu'on appelle la limite d'élasticité du corps. Au-dessous de cette limite d'élasticité, extrêmement variable d'un corps à un autre, les corps sont dits *parfaitement élastiques*.

Si les forces extérieures appliquées à la surface d'un corps parfaitement élastique croissent graduellement à partir de zéro, il en résulte la formation de forces intérieures, dites élastiques, faisant sensiblement équilibre à chaque instant aux forces extérieures

[1] Voir Cours de M. Potier à l'École Polytechnique (1888-89, § 43). Expérience de Hirn, données numériques et calcul de E = 425.

et tendant à ramener le corps à sa forme primitive. Le travail positif T que les forces extérieures ont produit sur le corps n'y produit ni force vive, ni chaleur. Il y a donc création d'une nouvelle énergie, dont la valeur numérique W_e est égale à T. Cette nouvelle forme d'énergie a reçu le nom d'*énergie élastique*. Lorsque les forces extérieures restent fixes pendant un temps assez faibles, si l'on déplace en bloc le corps et ces forces, le corps emportera son énergie élastique, qui est distribuée dans ses éléments de volume suivant une loi bien déterminée.

L'énergie élastique acquise par le corps doit être capable, en se consommant, de produire un travail positif égal à T. En effet, si l'on fait décroître les forces extérieures jusqu'à zéro, ce sont les forces élastiques superficielles qui produisent sur l'extérieur un travail positif T, ramenant le corps à sa forme primitive, et dans cette forme on sait qu'il n'y a plus d'énergie élastique.

5. *Transformation sur place de l'énergie élastique en chaleur.* — Dans une expérience destinée à la mesure de l'équivalent mécanique E de la chaleur, Edlund a employé un fil cylindrique d'acier qu'il tendait par un poids P [1]. Le fil de longueur l s'allongeait de δl; nous supposerons qu'il restait parfaitement élastique.

La fraction p du poids qui allonge le fil croît graduellement de o à P. L'allongement correspondant à p est $\frac{l}{\varepsilon}\frac{p}{S}$, ε étant le coefficient d'élasticité du fil et S l'aire de sa section droite. Le travail T du poids P est donc égal à $\frac{1}{2}\frac{l}{\varepsilon}\frac{P^2}{S}$, et l'énergie élastique acquise par le fil est $W_e = T = \frac{Sl}{2\varepsilon}\left(\frac{P}{S}\right)^2$.

Remarquons que pour une partie du fil qui a une longueur 1, une section droite 1, par suite un volume 1, l'allongement est $\lambda = \frac{1}{\varepsilon}\frac{P}{S}$, et l'énergie élastique est :

$$W_e = \frac{1}{2\varepsilon}\left(\frac{P}{S}\right)^2 = \frac{1}{2}\varepsilon\lambda^2. \qquad (1)$$

Nous savons que, si l'on aidait le fil à remonter le poids, la force p décroissant de P à o, l'énergie élastique W_e deviendrait nulle en produisant un travail égal à T. Si l'on coupe au contraire brusquement le lien entre le fil et le poids, l'énergie élastique du fil ne disparaît pas par ce fait; mais elle ne peut se maintenir dans le fil, puisque les forces élastiques ramènent celui-ci à sa longueur primitive l. Edlund a trouvé dans ce cas qu'il y a création dans le fil d'une quantité de chaleur équivalente au travail T (en admettant son chiffre E = 428,3). En appliquant par anticipation le théorème du § 10, on voit que l'énergie élastique du fil s'est transformée en chaleur sur place dans chacun de ses éléments de volume. Ce phénomène est irréversible.

6. *Généralité de la propriété de l'énergie élastique de se transformer en chaleur.* — D'abord cette propriété n'appartient point à la force vive. Reprenons en effet l'expérience de Hirn, incomplètement analysée au § 2 au point de vue des transformations d'énergies. Le marteau transmet au plomb et à l'enclume une partie de sa force vive, qui n'est nullement transformée en chaleur. Les légères déformations du marteau et de l'enclume pendant le choc y créent, aux dépens de la force vive, une énergie élastique T qui, à la fin du choc, est complètement transformée en force vive, puisque les forces élastiques ont par un travail T ramené les deux corps à leur forme primitive. Dans le plomb, au contraire, la déformation dépasse considérablement celle qui correspond à la très faible limite d'élasticité de ce métal, et l'énergie élastique créée en grand excès se transforme sur place en chaleur.

La propriété de l'énergie élastique de se dissiper en chaleur n'est pas spéciale au

[1] Voir Cours de M. Cornu à l'École Polytechnique (1896-97, § 48-49). Expériences d'Edlund, mesure de E par l'emploi de divers fils métalliques.

plomb. Elle existe dans tous les métaux soumis à des forces dépassant plus ou moins considérablement celles qui correspondent à leur limite d'élasticité. Prenons comme exemple une expérience de Joule, où le travail des forces de frottement de la fonte sur la fonte crée de l'énergie élastique aux dépens de la force vive des fontes, laquelle est constamment renouvelée. L'énergie élastique se transforme incessamment en chaleur; c'est cette chaleur que mesurait Joule dans son calorimètre.

Lorsqu'on soumet un métal à des forces de compression ou de traction supérieures à celles qui correspondent à la limite d'élasticité, à partir de cette limite l'énergie élastique W_e est créée en excès et ne peut se maintenir intégralement; une partie (W_e—W_e') se transforme en chaleur. L'énergie élastique restante W_e', lorsque l'on ramène les forces à zéro, est insuffisante pour ramener le métal à sa forme primitive. Il en résulte une déformation permanente subie par le métal, qui a une nouvelle limite d'élasticité correspondant à la grandeur maximum atteinte par les forces dans cette expérience [1].

Le rôle capital de l'énergie élastique dans les phénomènes de déformation permanente des corps est rendu évident par toutes les expériences faites. Aucun travail moléculaire n'apparaît dans ces phénomènes, où il y a équivalence entre la chaleur créée et l'énergie élastique dissipée.

7. *Vitesse uniforme de propagation commune à la force vive et à l'énergie élastique.* — Étudions la propagation, sur un fil métallique cylindrique, d'un mouvement longitudinal communiqué à un bout O de ce fil.

Chaque section droite du fil, ayant une abscisse x à l'origine du mouvement en O, subit un déplacement longitudinal u variable avec le temps t. On sait, par la théorie de l'élasticité, que u est une fonction de x et de t de la forme :

$$u = f\left(t - \frac{x}{a}\right)$$

si le déplacement u donné au point O($x = 0$) est $u = f(t)$; a désigne une vitesse uniforme de propagation sur le fil de chaque déplacement $f(t)$ donné au point O. La valeur de a est $\sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}}$, ε désignant le coefficient d'élasticité du fil et ρ sa densité de masse.

Calculons la force vive w et l'énergie élastique w_e par unité de volume du fil, en un point de la section x, dont l'abscisse est $x + u$ à l'époque t. On a :

$$w = \frac{1}{2}\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)^2 = \frac{1}{2}\rho f_t'^2\left(t - \frac{x}{a}\right)$$

f_t' désignant la dérivée de f par rapport à t. Comme l'allongement λ du fil par unité de longueur est égal à $\frac{du}{dx}$, on aura, par la formule (1) du § 5 :

$$w_e = \frac{1}{2}\varepsilon\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 = \frac{\varepsilon}{2a^2} f_t'^2\left(t - \frac{x}{a}\right).$$

On a donc : 1° $w = w_e$, c'est-à-dire égalité de la force vive et de l'énergie élastique dans tout élément de volume du fil; 2° vitesse uniforme a de ces deux énergies le long du fil jusqu'à l'arrivée du mouvement à l'autre bout de ce fil.

On remarquera, à ce propos, que le mode de propagation de la chaleur dans les corps ne comporte pas de vitesse uniforme.

8. *Énergie chimique.* — La combinaison chimique de deux corps donne lieu en général à un dégagement de chaleur. Si l'on produit cette combinaison par divers procédés, en ayant soin que l'état initial de ces deux corps

[1] Si j'ai précisé la grandeur de la nouvelle limite d'élasticité c'est grâce à une démonstration expérimentale qu'a bien voulu répéter devant moi le capitaine Mengin, directeur de l'atelier de précision de l'artillerie à Paris. Il soumettait des plaques métalliques rectangulaires (cuivre, laiton, aluminium,....) à des forces de traction de plus en plus grandes à chaque nouvelle expérience. Les limites successives d'élasticité du métal correspondaient évidemment aux forces maxima exercées précédemment, et le travail bien plus considérable des forces dès que l'on dépassait la nouvelle limite d'élasticité était facile à constater.

et l'état final de ces corps combinés soient toujours les mêmes, la quantité totale de chaleur dégagée a toujours la même valeur. La quantité de chaleur ainsi créée correspond à la dissipation d'une quantité équivalente d'une énergie de nouvelle forme, qui a reçu le nom d'*énergie chimique*. Cette perte d'énergie est subie par l'ensemble des deux corps.

On vérifie facilement que l'énergie chimique possède les propriétés communes aux trois énergies étudiées jusqu'ici. Une étude plus complète des propriétés de l'énergie chimique sera faite en électricité.

9. *Propriétés communes à toutes les énergies.* — Chaque énergie est caractérisée par l'ensemble de ses propriétés qui la distingue des autres énergies. Mais il existe plusieurs propriétés communes à toutes les formes de l'énergie :

1° L'énergie est localisée dans les divers éléments de volume d'un corps, suivant une loi de répartition bien déterminée, qui peut d'ailleurs varier avec le temps ;

2° Un corps qui se déplace emporte avec lui son énergie. Cette propriété subsiste même quand il y a superposition d'un autre phénomène dans le même corps ;

3° *Principe de la conservation de l'énergie.* — Considérons les corps contenus dans un volume U limité par une surface S, et supposons qu'il n'y ait aucun échange d'énergie entre eux et les corps extérieurs à S. *Si* W_1 $W_2 \dots W_n$ *sont les valeurs des diverses énergies qui existent dans le système* U, *leur somme* W *restera invariable :*

$$\delta W_1 + \dots + \delta W_n = 0.$$

Cette formule est la généralisation de la formule (1) du § 3.

10. *Théorème.* — Si dans un volume U limité par une surface S il existe, à l'époque t, une énergie W_1 qui s'accroît de dW_1 pendant le temps infiniment petit dt, cet accroissement a lieu uniquement aux dépens d'une ou plusieurs des énergies W_2 $W_3 \dots$ qui existent dans U à l'époque t.

Il suffit de démontrer cette propriété pour l'intervalle de temps ε qui existe entre t et $t + \varepsilon$, ε étant fini, mais de tel ordre de petitesse que nous voudrons. Pendant ce temps ε il peut arriver de l'extérieur dans U une certaine quantité d'énergie qui s'ajoute à celle qui existait au temps t. Quand même la vitesse de propagation de cette énergie serait la plus grande que nous connaissons : 300 000 km par seconde, elle ne pénétrera que dans une couche ayant pour base la surface S et pour épaisseur une longueur aussi minime qu'on voudra, 10^{-1000} micron par exemple. Le volume de cette couche sera donc rigoureusement négligeable par rapport au volume U. Donc l'énergie extérieure à S n'intervient absolument en rien dans l'accroissement de l'énergie W_1 qui se produit dans le volume U. Ce théorème s'étend évidemment à un élément de volume U aussi petit que l'on voudra. Dans tout élément de volume l'accroissement de W_1 provient donc de la dissipation sur place d'autres énergies.

11. *Théorie des actions à distance.* — Le rôle de cette théorie en mécanique et en physique peut être considéré à deux points de vue : rôle purement mathématique ; rôle physique consistant à donner les lois des forces et de l'énergie. Pour plus de clarté, examinons successivement ces deux rôles, dont le plus important pour notre étude est le rôle physique.

1° *Rôle mathématique.* — Nous avons démontré en Électricité une identité purement mathématique [1] qui, simplifiée par l'emploi de notations abrégées ($\overline{m}$ et $\overline{m_r}$), peut s'écrire :

$$\overline{h} = \sum \frac{\overline{m}}{r^2} + \sum \frac{\overline{m_r \sin \theta}}{r^2} \qquad (1)$$

et s'énoncer, dans le langage de la théorie

[1] Voir *Théorie de l'Électricité*, ch. III, pour la démonstration de cette identité.

**

des actions à distance, de la manière suivante :

En un point quelconque M d'un champ électrique, l'intensité $\bar{h}$ du champ est identique à la résultante des intensités $\bar{h}_1$ et $\bar{h}_2$ de deux champs électriques créés :

Le premier par des masses électriques m, m', m''..... réparties dans le champ électrique réel, masses identiques à celles de Coulomb par leur propriété, $\bar{h}_1 = \sum \overline{\frac{m}{r^2}}$;

Le deuxième par des masses électriques vectorielles $\overline{m_v}\ \overline{m'_v}$ ...... jouissant de la même propriété $\left(\bar{h} = \sum \overline{\frac{m_v \sin \theta}{r^2}}\right)$ que les éléments de courant *ids* qui créent un champ magnétique suivant la loi de Laplace,

$$\left(\bar{h}_2 = \sum \overline{\frac{ids \sin \theta}{r^2}}\right).$$

La distribution de ces masses et masses vectorielles dépend uniquement de la distribution de l'intensité $\bar{h}$ aux divers points du champ, et nullement de la nature des corps qui y existent.

L'identité (1) est applicable au champ d'un vecteur quelconque : $\bar{h}$ = vitesse des points d'un corps mobile; $\bar{h}$ = accélération; $\bar{g}$, vecteur caractéristique du champ de la pesanteur (g = 981 C. G. S. à Paris) ; $\bar{h}$ = flux de chaleur dans un champ calorifique, etc.

Le rôle des actions à distance, ainsi démontré mathématiquement sans aucune hypothèse, n'accroît en rien nos connaissances en Mécanique et en Physique.

2° *Rôle physique des actions à distance.* — La théorie des actions à distance en Électrostatique s'appuie sur la loi physique hypothétique de Coulomb, d'après laquelle une masse électrique *m* exerce sur une masse électrique *m'* une force $f = \frac{m m'}{r^2}$, la même force s'exerçant aussi sur le corps qui supporte la masse *m'*. D'après cette loi, où n'intervient pas la nature des divers corps situés dans un champ électrique, le calcul des forces électriques appliquées à ces corps et celui de l'énergie électrique du champ conduisent à des formules fausses, ce dont on s'est aperçu expérimentalement depuis bien longtemps. Ce sont ces conséquences du rôle physique des actions à distance en Électricité que nous voulions mettre en évidence.

Pour concilier la loi de Coulomb avec l'expérience, on a imaginé une *électrisation induite* dans les diélectriques. Comme il existerait dans un élément de volume, aussi petit que l'on veut, des quantités égales et de signes contraires d'électricité induite, on ne voit pas clairement la distribution de ces deux quantités.

Ce que Coulomb mesurait avec son plan d'épreuve, c'était une *quantité d'électricité*, comprise comme une notion purement expérimentale. On ne saurait confondre cette notion avec celle de la masse électrique de Coulomb, le rôle purement mathématique de cette masse étant défini par l'identité (1), qui se réduit en Électrostatique à :

$$\bar{h} = \sum \overline{\frac{m}{r^2}}.$$

12. *Énergies cinétique et potentielle.* — On admet généralement en Mécanique rationnelle deux catégories d'énergie proposées par Rankine : 1° la force vive, appelée énergie *cinétique* ou *actuelle;* 2° l'ensemble des autres énergies sous le nom unique d'énergie potentielle.

La notion de l'énergie potentielle d'un système matériel quelconque est fondée sur l'hypothèse que les forces intérieures admettent un potentiel U défini par l'équation :

$$\Delta U = -\mathcal{T}_i$$

où $\mathcal{T}_i$ désigne le travail des forces intérieures et Δ U la variation correspondante du potentiel. Cette fonction U n'étant définie qu'à une constante près, on donne à cette constante une valeur telle que le minimum des valeurs que peut prendre U soit égal à zéro, et l'on donne alors à U le nom d'énergie potentielle.

La division des énergies en deux catégo-

ries : énergie actuelle et énergie potentielle n'est nullement justifiée par l'expérience. Nous avons vu en effet, aux § 4 à 7, le rôle considérable que joue l'énergie élastique et qui est au moins aussi important que celui de la force vive. Il nous semble qu'il serait très intéressant d'introduire en Mécanique l'étude des propriétés expérimentales si importantes de l'énergie élastique, qui appartient, comme la force vive au domaine de la Mécanique rationnelle.

De même les autres énergies ne doivent pas être traitées en bloc d'*énergie potentielle*.

ÉNERGIES ÉLECTRIQUE ET MAGNÉTIQUE

13. *Énergie électrique.* — L'énergie W d'un champ électrique a pour formule :

$$W = \int_U \frac{kh^2}{8\pi} du$$

U désignant le volume occupé par le champ, *du* un élément infiniment petit de ce volume, *h* l'intensité du champ dans le volume *du*, *k* pouvoir inducteur électrique de la substance qui occupe le volume *du*.

L'énergie électrique *w du* localisée dans l'élément du volume *du* est égale à $\frac{kh^2}{8\pi} du$.

14. *Transformation de l'énergie électrique en chaleur.* — Appliquons ces formules au cas d'un condensateur composé d'un conducteur creux au potentiel V_1 et d'un conducteur intérieur au potentiel V_2, avec un diélectrique ayant une conductivité égale à *c*. D'après la loi expérimentale de Joule, une quantité de chaleur $dQ = ch^2\,du\,dt$ sera créée dans un élément quelconque de volume *du* entre les époques *t* et $t + dt$. D'autre part, d'après le théorème du § 10, cette chaleur *d*Q est égale à la perte subie pendant le même temps *dt*, par l'énergie électrique $\frac{kh^2}{8\pi} du$ qui existe dans le même volume *du*. Donc en posant : $k = 4\pi c \theta$ on a :

$$ch^2 du dt = -\frac{d}{dt}\left(\frac{kh^2}{8\pi}\right) du dt$$

ou

$$\frac{dh}{dt} + \frac{h}{\theta} = 0.$$

En désignant par $h_0\ (x, y, z)$ l'intensité initiale du champ aux divers points (x, y, z) du diélectrique, l'intégration de cette équation donne :

$$h = h_0 e^{-\frac{t}{\theta}}.$$

Les surfaces équipotentielles conservent évidemment leurs formes primitives.

Au bout du temps :

$$t_1 = \theta L\,(100) = 4{,}6\ \theta$$

h sera réduit au centième de h_0, et l'énergie électrique, proportionnelle à $e^{-\frac{2t}{\theta}}$, ne sera plus que le dix-millième de sa valeur initiale W_0. La chaleur totale créée sur place sera alors égale à W_0.

Cette transformation de l'énergie électrique en chaleur est irréversible. — Elle se produit spontanément dans tous les conducteurs, ou plutôt dans tous les corps à des degrés extrêmement divers. Pour l'air θ est supérieur à 10^7 dans les conditions les plus favorables d'isolement (expériences de Lord Kelvin). Pour le cuivre $\theta = 1{,}4\ 10^{-19}\mu$, μ étant le pouvoir inducteur du cuivre divisé par celui de l'air. Expérimentalement μ est inconnu, mais θ est sans doute extrêmement petit.

15. *Énergie magnétique.* — L'énergie d'un champ magnétique a pour formule :

$$W = \int_U \frac{kh^2}{8\pi} du$$

h désignant l'intensité du champ magnétique dans l'élément de volume *du*, *k* le pouvoir inducteur magnétique de la substance qui occupe le volume *du*.

L'énergie magnétique *w du* localisée dans un élément quelconque de volume *du* est égale à $\frac{kh^2}{8\pi} du$. On remarquera l'identité des formules de W et de *w* pour l'énergie électrique et pour l'énergie magnétique.

L'énergie magnétique ne se transforme en chaleur dans aucun corps; c'est une loi expérimentale absolument générale. Ainsi le champ magnétique terrestre subsiste indéfi-

niment dans tous les corps conducteurs ou isolants au point de vue électrique, même dans les aimants et les corps magnétiques, sans que l'on ait jamais constaté le moindre dégagement de chaleur de ce fait.

Toutefois, lorsque l'état du champ magnétique varie avec le temps dans un corps, il y a toujours création simultanée d'un champ électrique plus ou moins intense suivant la rapidité de variation du champ magnétique. Or on sait expérimentalement que dans un corps isolant les variations d'un champ magnétique ne produisent aucune chaleur. Pour qu'il y ait dégagement de chaleur, il faut que le corps soit conducteur, et alors c'est l'énergie électrique qui s'y transforme en chaleur. — Dans la théorie des fluides électriques, cette chaleur est équivalente au travail des *forces électromotrices induites*. On voit combien cette théorie est impuissante à expliquer le phénomène réel.

Un des effets les plus importants de l'hystérésis magnétique est le dégagement de chaleur que l'on observe dans les métaux sous l'action des variations du champ magnétique que l'on y développe. D'après la loi générale ci-dessus, ce n'est point l'énergie magnétique qui se transforme en chaleur. Comme nous venons de le dire pour les conducteurs, il y a l'énergie électrique qui se dissipe en chaleur tout en étant renouvelée incessamment.

Joule et d'autres savants ont démontré expérimentalement que, dans un champ magnétique très intense, les forces magnétiques produisent des déformations permanentes des métaux magnétiques. Il y a alors de l'énergie élastique développée en excès et qui se dissipe également en chaleur.

16. *Transformations réversibles de l'énergie électrique et de l'énergie magnétique en force vive et énergie élastique.* — Un travail positif exécuté sur un corps quelconque par des forces électriques ou magnétiques accroîtra la force vive de ce corps ; c'est là une propriété de toutes les forces. Si, en outre, les forces électriques ou magnétiques accroissent la déformation du corps, elles accroîtront l'énergie élastique de celui-ci. Au lieu de parler du travail des forces électriques ou magnétiques, on peut dire qu'une partie de l'énergie du champ électrique ou magnétique a été cédée sur place au corps en se transformant en force vive ou en énergie élastique.

Si au contraire un corps animé d'une force vive se déplace dans un champ électrique ou magnétique, de telle sorte que le travail des forces électriques ou magnétiques sur lui soit négatif, c'est le corps qui perdra une partie de sa force vive qui se transformera en énergie électrique ou magnétique. Ces transformations d'énergies sont donc réversibles.

La force vive et l'énergie élastique créées en excès à la surface du corps, par exemple, se distribuent instantanément dans le corps, suivant une loi bien déterminée. De même l'énergie électrique ou magnétique créée en excès dans une partie du champ se distribue instantanément dans le volume du champ suivant la loi qui convient à la stabilité du nouveau champ.

17. *Transformations réversibles de l'énergie électrique en chaleur et en énergie chimique.* — Lorsqu'un circuit contient des conducteurs solides et des piles voltaïques et thermo-électriques, l'expérience montre qu'à la surface de contact de deux conducteurs solides ou liquides il y a de la chaleur créée ou un refroidissement, suivant le sens du courant (effet Peltier). Le même effet calorifique se produit le long d'un conducteur homogène lorsque la température n'y est pas uniforme (effet Kelvin). En outre, aux électrodes il se produit des pertes ou des gains d'énergie chimique suivant le sens du courant.

Les gains, comme les pertes, d'énergie calorifique ou chimique sont proportionnelles, par unité de temps, à l'intensité du courant. Les pertes d'énergie ont donc pour formules : PI pour l'effet Peltier, KI pour l'effet Kelvin, CI pour l'effet chimique. Et l'on sait que les coefficients de proportionnalité P, K, C ne dépendent : P que de l'état physique du con-

tact de deux conducteurs, K que de l'état physique de chaque conducteur, C que de l'état chimique des électrodes. Ces trois coefficients sont, dans le langage usuel, les *forces électromotrices* du circuit fermé.

D'après le théorème du § 10, un accroissement $-$ CI dt d'énergie chimique sur une électrode (ou d'énergie calorifique $-$ PI dt ou $-$ KI dt) est égale à la perte, sur place, de l'énergie électrique ($-dW = -$ CI dt, ou $-$ PI dt, ou $-$ KI dt). Dans le cas d'une perte CI dt, par exemple, c'est au contraire une quantité CI dt d'énergie électrique qui est créée sur place et qui se transporte, à travers le diélectrique ambiant et le conducteur, en d'autres points du circuit, où elle se transforme en énergie chimique ou calorifique. En se propageant à travers le champ électrique, cette énergie électrique constamment renouvelée glisse le long des surfaces équipotentielles. C'est ainsi qu'elle se propage tangentiellement à la surface d'un conducteur isolé qui est une surface équipotentielle, tandis qu'elle pénètre à l'intérieur de la surface du circuit fermé qui n'est pas équipotentielle.

18. *Vitesse uniforme de propagation des énergies électrique et magnétique.* — Le *flux d'énergie électrique et magnétique*, en un point quelconque (x, y, z) d'un champ électromagnétique, est représenté analytiquement par un vecteur w existant en ce point, à une époque t si le champ est variable. Ce vecteur w est défini par ses trois composantes w_x, w_y, w_z.

$$4\pi w_x = Y'Z - YZ'$$
$$4\pi w_y = Z'X - ZX'$$
$$4\pi w_z = X'Y - XY'$$

X, Y, Z étant les composantes de l'intensité h du champ électrique, X', Y', Z' celles de l'intensité h' du champ magnétique, au point (x, y, z).

Lorsqu'un champ électromagnétique se propage dans l'espace, il existe à une époque t une surface S qui divise cet espace en deux parties : l'une A où le champ existe déjà, l'autre B où il n'a pas encore pénétré. Appelons le champ A *onde électromagnétique* et S le *front de l'onde*. Entre les époques t et $t+dt$, ce front de l'onde pénètre dans l'espace B *avec une vitesse uniforme* a *de propagation* comptée normalement à S. D'après des expériences faites sur des ondes périodiques, dont la période varie de 10^{-8} à 10^{-10} seconde, il résulte que cette vitesse uniforme a dans l'air est égale à celle de la lumière.

Une autre propriété du front de l'onde, c'est que dans la couche infiniment mince qu'il balaie pendant le temps dt, il y a un apport d'énergie électrique et d'énergie magnétique, ces deux énergies étant toujours égales dans chaque élément de volume de la couche; et cela quelle que soit la nature des corps où se propage l'onde électromagnétique.

Si une onde électromagnétique plane, se propageant avec une vitesse uniforme a dans un milieu isolant, rencontre la surface plane parallèle d'un conducteur, elle s'y réfléchit presque totalement. Une partie plus ou moins faible de cette onde pénètre dans le conducteur où elle se propage sans vitesse uniforme à cause de la dissipation d'énergie électrique. Mais les propriétés du front de l'onde, vitesse uniforme a' de propagation, égalité de l'énergie électrique et magnétique dans la couche mince, se conservent. L'égalité se maintient, parce que l'énergie magnétique fournit incessamment à l'énergie électrique qui se dissipe la moitié de sa perte. L'énergie électrique w par unité de volume décroît donc, non suivant la loi $w_0 e^{-\frac{2t}{\theta}}$ comme au § 14 mais suivant la loi $w = w_0 e^{-\frac{t}{\theta}}$, et l'énergie magnétique, $w_m = w = w_0 e^{-\frac{t}{\theta}}$, joue le rôle de réservoir de l'énergie électrique.

19. *Champ de la pesanteur.* — Le vecteur caractéristique du champ de la pesanteur est l'accélération g, indépendante de la nature du corps qui la subit; c'est là une loi expérimentale, qui s'applique au champ de la gravitation universelle.

Si un corps de masse M tombe d'une hauteur H, en vertu de l'accélération g il acquiert une force vive $\frac{1}{2}MV^2$ égale au produit de son poids P par H. Chaque masse élémentaire m de ce corps possède la force vive $\frac{1}{2}mV^2 = mgH$. Cette force vive $\frac{1}{2}mV^2$ correspond à une perte égale de l'énergie W du champ de la pesanteur dans chacun des éléments de volume du corps (théorème du § 10).

Dans l'expérience d'Edlund, il n'en est pas de même. La force vive qu'acquerrait le poids P qui tombe d'une hauteur H. est transmise au fur et à mesure au fil qu'il tend, et dans ce fil se transforme en énergie élastique.

A. Vaschy,
Ingénieur des Télégraphes.

MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES (1)

Le nouvel alternateur à disque que font breveter MM. Siemens frères et Lauckert (1) est particularisé par l'emploi du fer dans l'armature. Le support de l'induit est formé par deux disques de métal non magnétique D

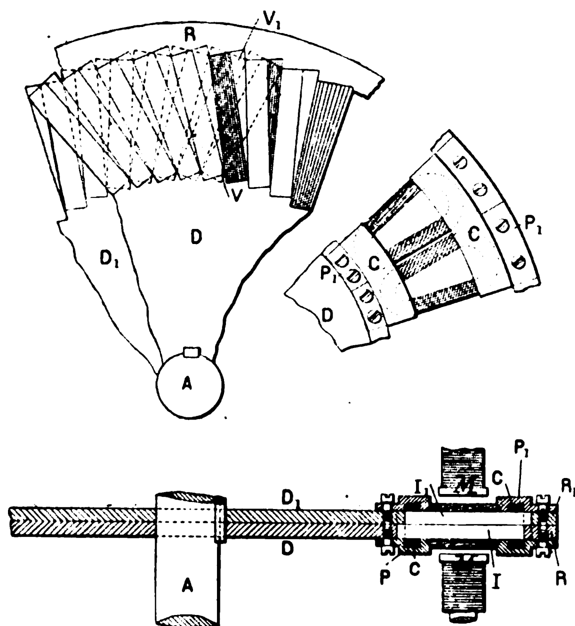


Fig. 1, 2 et 3. — Machine à disque et à fer dispositif de Siemens frères et Lauckert.

et D_1 (fig. 1), clavetés sur l'arbre A et munis à leur circonférence de dents de façon à constituer deux roues à rochet.

Deux anneaux extérieurs accolés l'un à l'autre portent intérieurement un nombre de dents égal à celui des disques et placés en regard de celles de ces disques. Les dentelures sur les deux disques et des deux anneaux sont inclinées en sens contraire.

Entre l'anneau R et le disque D d'une part, et l'anneau R_1 et le disque D_1 d'autre part, sont placés des paquets V et V_1 de tôles I et I_1 isolées entre elles et pouvant affecter les diverses formes montrées sur la figure 1, rectangulaire, triangulaire ou trapézoïdale. Ces tôles constituent le circuit magnétique de l'induit; les bobines C (fig. 2 et 3) sont fixées sur les disques et les anneaux à l'aide de tenailles en bois P P_1 fixées aux disques et aux anneaux par des vis L'intérieur des bobines peut être rempli par une pièce de bois ou d'autre matière convenable et retenue par les tenailles P P_1 elles-mêmes.

L'inducteur fixe est formé par les pôles. M M_1.

Les moyens de combattre la réaction d'induit et la production des étincelles aux balais dans les machines à courant continu proposés par M. de Ferranti (2) ne sont que des modifications de procédés bien connus.

Le brevet de M. de Ferranti peut se partager en deux parties. La première est une

(1) Brevet anglais n° 129, 3 figures. Déposé le 2 janvier 1897, accordé le 27 février 1897.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 11 septembre, p. 493.

(2) Brevet anglais n° 2481, 7 figures. Déposé le 5 février 1896, accordé le 13 février 1897.

réédition du procédé bien connu et attribué à Ryan, consistant à pratiquer à la surface des pièces polaires d'une machine à courant continu des encoches ou des trous dans lesquels est logé un circuit traversé par le courant principal ou une portion déterminée de ce courant et disposé de façon à créer un flux magnétique de sens contraire à celui de l'induit.

La seule différence qui existe entre le dispositif de Ryan et celui qui nous occupe,

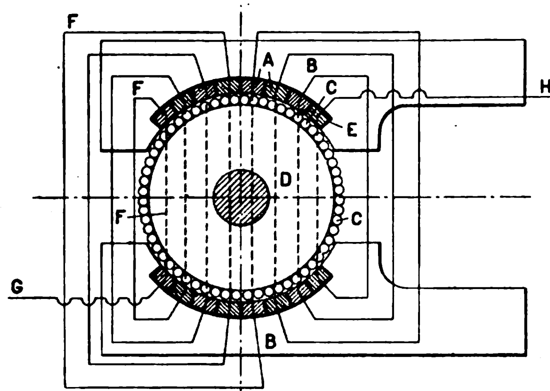


Fig. 4. — Dispositif de de Ferranti pour compenser la réaction induit.

c'est que les conducteurs logés à la surface des pôles sont en fer pour éviter d'augmenter artificiellement l'entrefer. Les barres de fer sont naturellement isolées entre elles et la masse du pôle et sont connectées ensemble par des conducteurs en cuivre. La figure 4 donne le schéma du dispositif de Ferranti et des connexions des barres entre elles.

Toutefois, l'inventeur reconnaît que dans certains cas la section du fer n'est pas suffisante pour laisser passer sans trop d'échauffement les ampères-tours nécessaires à la neutralisation complète du flux propre de l'induit. Les barres de l'enroulement compensateur sont alors constituées, comme le montre la figure 5, par des conducteurs en fer A et en cuivre I ou en un autre métal de conductibilité plus grande que celle du fer

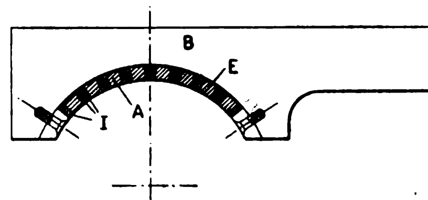


Fig. 5. — Enroulement compensateur en fer et cuivre.

et ces derniers montés en dérivation sur les premiers transportent la plus grande partie du courant. On arrive encore au même résultat en déposant électriquement une couche de cuivre sur les barres de fer.

La seconde partie du brevet de M. de Ferranti se rapporte au dispositif non moins connu [1] des pôles auxiliaires placés entre les pôles principaux.

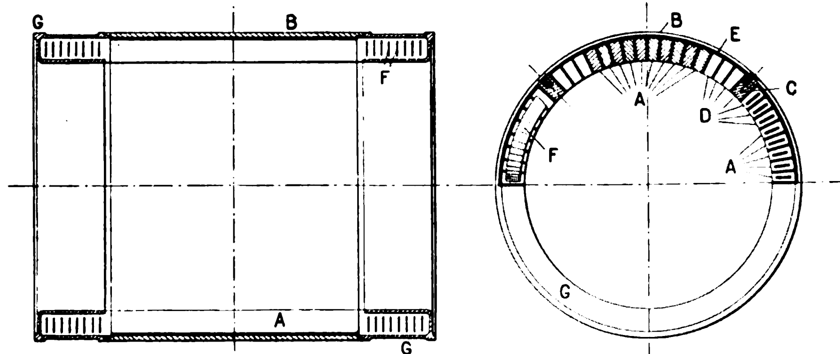


Fig. 6 et 7. — Enroulement compensateur en fer et piles auxiliaires système de Ferranti.

Les figures 6 et 7 donnent une idée de ce dispositif et du précédent appliqué conjointement à une machine tétrapolaire dont l'inducteur a la forme d'un anneau.

Les pôles principaux sont formés comme

[1] Voir notre article Sur des perfectionnements dans les machines à courant continu. *La Lumière Électrique*, t. XLIX, p. 301, 1893.

précédemment par des barres de fer A isolées du reste de l'anneau B. Les pôles auxiliaires *c* placés entre les premiers sont constitués également par des bandes de fer et l'espace entre les deux séries de pôles est rempli par des conducteurs en métal non magnétique qui constituent l'enroulement des pôles C et qui sont traversés par le courant de l'induit.

Les connexions entre les barres A et les conducteurs D sont faites en cuivre et de telle façon que l'enroulement compensateur et les pôles auxiliaires agissent dans le même sens.

Dans un second brevet, M. de Ferranti [1] donne quelques détails sur les constructions des circuits compensateurs et des pôles auxiliaires.

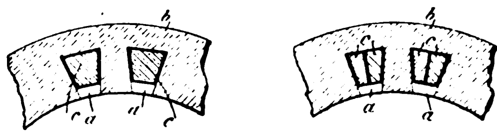


Fig. 8 et 9. — Fixation des barres du compensateur de Ferranti dans les pièces polaires.

Pour éviter le déplacement dans le sens radial des barres de fer ou de cuivre *c* formant l'enroulement de compensation, on peut donner à celles-ci et aux encoches *a* qui les reçoivent, soit une section trapézoïdale (fig. 8 et 9), soit une section rectangulaire (fig. 10 et 11).

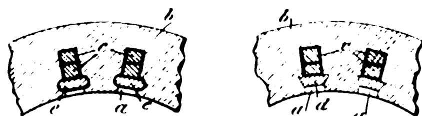


Fig. 10 et 11. — Autre procédé de fixation.

Dans ce dernier cas, les conducteurs *c* sont retenus par des barres *e* ou *d* en métal non magnétique ou en une matière isolante quelconque. Dans une autre disposition (fig. 12 13 et 14), les conducteurs *c* formant un pôle auxiliaire *o* ont une rigidité suffisante pour prévenir toute déformation et sont alors seulement maintenus par la matière isolante *g* contenue dans les boîtes annulaires *f*. Ces boîtes peuvent être remplacées par un simple anneau métallique fixé sur les pièces polaires *b* et portant une projection s'engageant dans un logement *ad hoc* pratiqué dans la barre *c* et de laquelle elle est séparée par une gaine isolante.

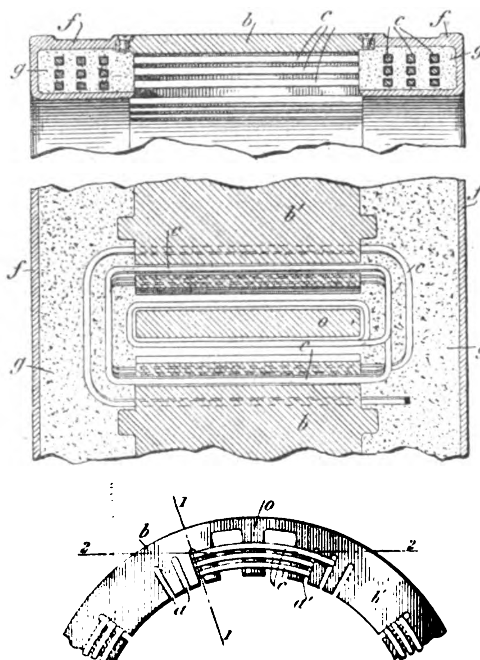


Fig. 12, 13 et 14. — Constitution d'un pôle auxiliaire de Ferranti pour combattre la réaction d'induit.

Dans un dernier dispositif, les conducteurs *c* sont réunis entre eux par les développantes *c'* avec lesquelles ils sont rivés ou brasés.

Le perfectionnement que M. W.-E. Gray [1] apporte aux moteurs et dynamos consiste tout simplement à munir les pôles de l'inducteur et de l'induit de noyaux en tôles recourbées deux fois à angle droit et enchevêtrées les unes dans les autres, comme le montre la

[1] Brevet anglais, n° 7195, 9 figures. Déposé le 9 avril 1896; accordé le 6 mars 1897. Détails sur les constructions des circuits compensateurs et des pôles auxiliaires.

[1] Brevet anglais n° 8216, 2 figures. Déposé le 18 avril 1896, accordé le 6 mars 1897.

figure 15, représentant une bobine de l'induit et une bobine de l'inducteur. Il va sans dire que le nombre de bobines induites doit toujours être premier avec celui des bobines inductrices, si l'on veut que ce dispositif employé dans un moteur lui permette de démarrer dans une position quelconque. Dans la pensée de l'inventeur, ce genre de moteur est particulièrement approprié à la traction.

M. W.-B. Sayers, dont la compétence en matière de dynamos est universellement

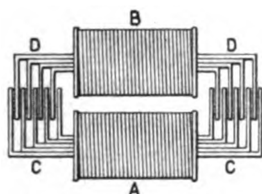


Fig. 15. — Moteur W.-E. Gray.

connue, propose un procédé très simple [1] pour obtenir le compoundage d'une dynamo ou d'un moteur, basé sur la distorsion du champ magnétique dans l'entrefer par suite de la réaction d'induit.

On sait que dans une dynamo à vide le flux magnétique est distribué d'une façon

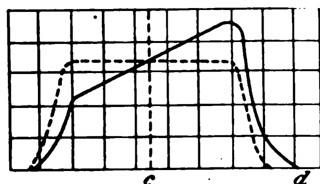


Fig. 16. — Courbes des flux le long de l'entrefer dans une machine à courant continu.

..... Courbe du flux à vide.
——— Courbe du flux en charge.

sensiblement uniforme le long de l'entrefer sous les pièces polaires ; aussi la courbe du flux en fonction du développement de la circonférence de l'induit est-elle une courbe analogue à celle pointillée de la figure 16. Lorsque la dynamo est chargée, la réaction d'induit affaiblit le champ dans une partie de l'armature et le renforce dans l'autre, la courbe du flux se modifie alors et affecte la forme indiquée en trait plein sur la figure. La force électromotrice induite étant proportionnelle à l'intensité du flux suivra les mêmes variations.

Si donc, au lieu de prendre l'excitation entre le balai positif et le balai négatif (fig. 17), on la prend entre un balai auxiliaire B placé plus près du négatif que du positif, et le balai négatif, on voit que la tension entre ces deux balais augmentera avec la charge et qu'il sera possible, par suite, si l'on place convena-

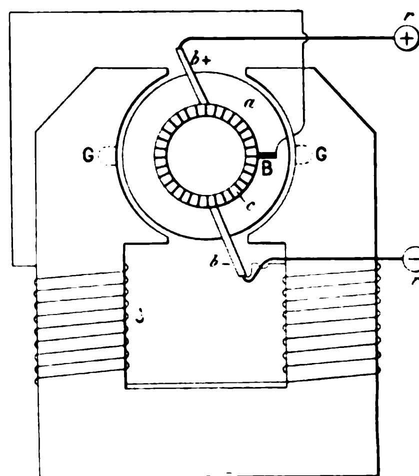


Fig. 17. — Schéma du procédé d'autorégulateur de Sayers.

blement le balai B, de compenser la chute de tension due à la réaction d'induit par l'augmentation des ampères-tours inducteurs.

On pourrait encore prendre la différence de potentiel croissant nécessaire à l'excitation pour une charge croissante entre deux balais auxiliaires placés l'un derrière l'autre entre les balais principaux. Dans le cas d'un moteur l'excitation devant décroître, l'excitation sera prise entre un balai principal et le balai auxiliaire comprenant une partie de l'induit où le flux est diminué.

Pour le moteur l'enroulement inducteur peut être constitué avec du fil d'un diamètre suffisant pour que, pendant la période du démarrage, cet enroulement puisse être mis en

***

[1] Brevet anglais n° 9 362, 4 figures. Déposé le 2 mai 1896, délivré le 10 avril 1897.

série avec une portion de l'induit; un commutateur spécial permet d'opérer la connexion en série pour le démarrage et la mise en parallèle des enroulements dès que le moteur a atteint une certaine vitesse.

La figure 18 montre le schéma des connexions dans un pareil moteur.

L'inducteur S est enroulé de façon à avoir le nombre d'ampères-tours normal lorsque la tension à ses bornes est égale au sixième de la tension aux bornes de l'induit. Les balais

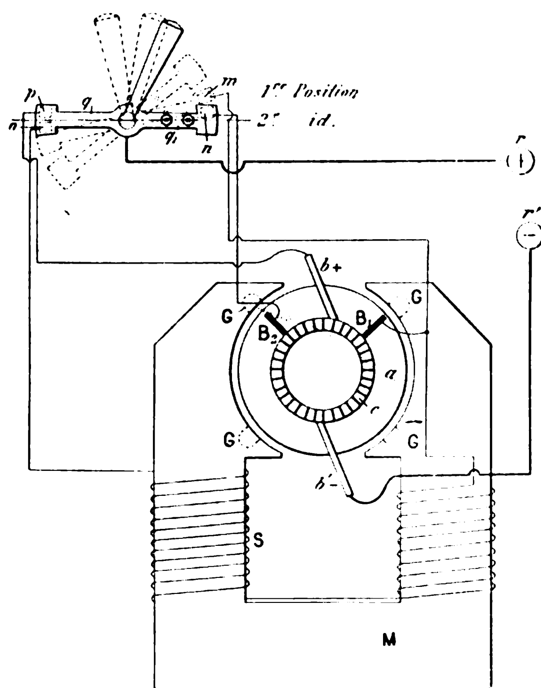


Fig. 18.— Schéma des connexions du procédé de démarrage Sayers pour un moteur autorégulateur.

additionnels B_1 et B_2, sont disposés sur le collecteur de telle manière que la différence de potentiel entre le balai positif et chacun des deux balais B_2 et B_1, soit égale au sixième de la tension totale. Le commutateur de démarrage se compose de quatre contacts fixes *m*, *n*, *o*, *p* et d'un levier mobile formé de deux parties métalliques dont l'une q_1 est isolée et dont l'autre *q* communique avec l'une des bornes principales *r* du moteur.

Le plot *o* est relié à l'une des extrémités de l'enroulement inducteur tandis que l'autre extrémité est en relation directe avec le balai B_1 et le plot *m*.

Le contact *n* est connecté avec le balai B_2, et *p* avec le balai principal positif *b*.

Lorsque le levier est amené de sa position de repos à la position n° 1, les plots *m* et *n* sont en communication métallique et on voit que l'inducteur est alors en série avec les portions symétriques de l'armature comprises entre les balais B_1 et B_2 et le balai négatif b_1.

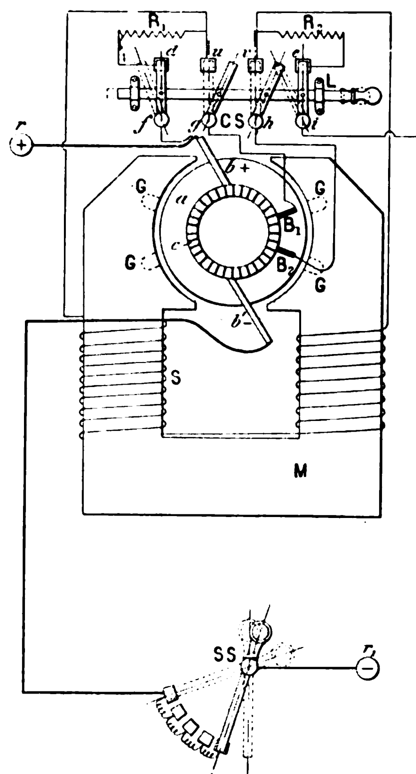


Fig. 19. — Schéma des connexions du procédé de démarrage Sayers avec égal débit pour les deux balais principaux.

Le moteur une fois démarré, le levier est amené dans sa position n° 2, qui coupe la communication électrique de *m* à *n* et établit celle de *o* à *p* laissant simplement le balai *b* en relation avec le plot *o*. L'enroulement inducteur est alors en dérivation aux bornes du moteur.

Le balai B_2 sert uniquement à partager pour le démarrage le circuit induit en parties identiques à celles obtenues par le balai B_1.

Le dispositif précédent présente le désa-

vantage que les deux balais principaux ne sont pas traversés par le même courant.

La figure 19 montre une disposition où cet inconvénient est évité par l'emploi de deux balais auxiliaires entre lesquels est branché le circuit d'excitation.

Le commutateur glissant formé des barrettes articulées *f*, *g*, *h*, *i* permet lorsque cela est nécessaire (marche en parallèle ou en moteur) de mettre la tension totale sur le circuit d'excitation dans lequel on introduit alors deux résistances R_1 et R_2 calculées de façon à ce que le courant d'excitation ait encore sa valeur normale.

Lorsque la machine doit fonctionner comme moteur, un rhéostat ordinaire T peut être introduit dans le circuit principal.

Sur toutes les figures les pièces polaires portent à l'endroit des balais auxiliaires des rainures G destinées à affaiblir le champ dans les sections mises en court-circuit, par ces balais et faciliter ainsi la commutation du courant d'excitation comme les types récents de machines pour distribution à trois fils [1]; toutefois, étant donné la faiblesse du courant à commuter, ces rainures ne sont pas absolument nécessaires en pratique.

F. GUILBERT.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 23 janvier 1879, t. X, p. 172.

TRAVAUX DE LA SOCIÉTÉ ALLEMANDE D'ÉLECTROCHIMIE

CONGRÈS DE MUNICH (22 AU 26 JUIN 1897) [2]

La quatrième réunion des électrochimistes allemands est intéressante à plus d'un titre. Outre les communications et les discussions d'ordre purement électrochimique dont on trouvera les détails plus loin, l'assemblée, dirigée par M. W. OSTWALD, le savant professeur de Leipzig, s'est occupée longuement [1] de questions pédagogiques que nous ne pouvons qu'effleurer ici, mais dont l'importance doit nécessairement être signalée.

On sait qu'en Allemagne l'enseignement chimique est donné par les chaires et les laboratoires des universités, qui seules ont le droit de conférer le diplôme de *docteur*, et en même temps par les écoles techniques supérieures (*Technische Hochschule*). Les professeurs et les partisans de ces dernières écoles réclament depuis quelques années la création d'un diplôme de chimiste, uniformément délivré dans tout l'Empire à la suite d'un examen d'État (*Staatsexamen*). Cet examen assurerait un meilleur recrutement des chimistes, faciliterait leur spécialisation ultérieure et rendrait les plus grands services à l'industrie du pays.

Dans un grand discours *Sur l'éducation scientifique et technique* (p. 5 à 11) le professeur Ostwald s'élève contre cette innovation qui, selon lui, n'a aucune raison d'être et qui menace de détruire le haut renom de la science chimique allemande.

Il montre l'importance du doctorat actuel, la souplesse avec laquelle les jeunes chimistes qui ont fait *librement* leurs études aux universités s'adaptent aux divers besoins de la technique. Et, comparant l'éducation chimique allemande à celle des autres pays :

« Les universités françaises, s'écrie-t-il, viennent enfin, en acquérant leur indépendance, de faire le pas le plus important dans l'imitation du modèle allemand, et c'est au moment où elles sont en train de donner à leurs étudiants cette liberté d'apprendre qui caractérise l'enseignement en Allemagne, c'est à ce moment même que nous voulons

(1) *Zeitsch. für Elektrochemie*, t. IV, p. 5 à 11 et 19 à 28.

(2) D'après la *Zeitsch. fur Elektrochemie*, organe de la Société, t. IV, p. 1 à 31 et p. 33 à 74. 1897,

choisir pour faire un pas en arrière, pour abandonner notre liberté scientifique, pour cesser de former des chercheurs et fabriquer simplement des ouvriers consciencieux ! »

Le célèbre professeur von Baeyer, de Munich, s'élève également contre l'examen uniforme, réglementé par une loi et, après une polémique assez vive la Société électrochimique rejette à une grande majorité la proposition de M. Böttinger, concernant l'examen d'État [1].

La série des communications débute par un sujet qui n'est pas encore d'ordre électrochimique; mais qui, par contre, présente un intérêt général dans toutes les sections de la science chimique il s'agit de la liquéfaction commode et rapide de l'air atmosphérique. Le professeur Linde, de Munich, montre une machine basée sur la détente de l'air de 200 atmosphères à 16 atmosphères, dont une partie se détend ensuite de 16 atmosphères à 1 atmosphère. Quand le froid produit par la première détente est suffisant, une partie de l'air se liquéfie sous la pression de 1 atmosphère. Avec une dépense de 3 chevaux, l'appareil fournit facilement 1 litre de liquide par heure.

SUR LES FOURS ÉLECTRIQUES

M. Pfleger, de Francfort, prend ensuite la parole et s'efforce de démontrer à l'assemblée le grand avenir du four électrique dans la future industrie électrochimique.

« Le chauffage par l'électricité, dit-il, n'existe en réalité que depuis que l'on a réussi à fabriquer industriellement le carbure de calcium; c'est depuis ce moment que les chimistes commencent à s'en occuper. On avait bien construit avant cette époque toute une série de fours électriques, mais si l'on excepte le carbure de silicium ou carborondum, les applications n'existaient pas. C'est la fabrication du carbure de calcium qui a démontré que le chauffage électrique peut être employé dans les buts les plus divers et c'est avec raison que l'on peut parler aujourd'hui d'une chimie de l'arc électrique.

» C'est Moissan qui jusqu'à présent s'est occupé presque exclusivement de cette chimie de l'arc; les instituts chimiques de l'Allemagne n'ont pour ainsi dire pas contribué à sa création. Cela tient à ce que les laboratoires allemands ne disposent pas de sources d'énergie aussi grandes que Moissan. La Société de Francfort (*Deutsche Gold und Silberscheide Anstalt*) construit des fours électriques pour les usages les plus divers et cet établissement en a déjà fourni à un grand nombre de laboratoires, mais il ne s'agissait que de fours minuscules, travaillant avec un petit courant, suffisant, à la rigueur, pour fondre devant un auditoire un petit morceau de chrome ou d'un autre produit réfractaire, mais ne permettant pas une étude systématique de la chimie de l'arc. Et cependant aujourd'hui qu'il existe des stations centrales dans presque toutes les villes, on pourrait installer facilement et sans trop grands frais des appareils de chauffage électrique.

» Prenons, pour fixer les idées, ce qui se passe à Francfort. Nous avons là à notre disposition un courant alternatif de 3 000 volts. Pour installer une *fonderie* électrique de 1 000 ampères et de 60 à 65 volts, il faudrait deux transformateurs de 30 kilowatts à 1 800 marks, soit 3 600 marks (4 500 fr); l'aménagement et les petits instruments coûtant encore 1 400 marks (1 750 fr), nous aurions pour 5 000 marks (6 250 fr) une installation qui permettrait toutes les recherches. Et n'oublions pas que le domaine des recherches est extrêmement grand; il s'étend dans toutes les directions et promet partout les plus beaux résultats. La technique a ici précédé la science, car la fabrication du carbure de calcium prend actuellement une importance qui impose l'attention ; il est bien rare que la fabrication rale et géologique et à la chimie technique. Il touche à la chime pure, à la chimie miné- d'un produit chimique ait acquis en si peu de

[1] Ce vote a eu un grand retentissement dans le monde chimique allemand; il a donné lieu à de nombreux commentaires. Voir entre autres C. Duisberg (*Zeitsch. f. angewandte Chemie*, du 15 août 1897, p. 531 à 541; — E. von Meyer, *ibid.*, p. 541 à 542. — (*Note du Réd.*)

temps un essor égal à celui du carbure de calcium. Même dans les pays dont l'industrie chimique était jusqu'à nos jours nulle ou très inférieure, on s'occupe énergiquement de la fabrication du carbure, en employant surtout les chutes d'eau, comme en Espagne. Nous y reviendrons bientôt.

» Nous venons de dire que les fabriques de carbure s'élèvent de préférence auprès des chutes d'eau. La raison en est que la formation du carbure exige une très grande quantité d'énergie. Les fours à carbure sont d'immenses mangeurs de force. Un four dans lequel on envoie un courant de 250 à 300 chevaux électriques n'est pas du tout un grand appareil.

» D'après un calcul thermochimique de Pictet, on peut faire théoriquement avec 1 cheval de force, environ 4 kg de carbure en vingt-quatre heures. Or, on a construit une grande quantité de fours à carbure dont la disposition aurait pour résultat d'augmenter le rendement en carbure; il y aurait des fours livrant de 9 à 12 kg de bon carbure par cheval en vingt-quatre heures. On doit considérer ces données avec le scepticisme le plus absolu. Aucune construction de four ne peut rien changer aux constantes de l'arc électrique, c'est-à-dire à sa température et à ses dimensions qui ne dépendent que des conditions électriques. Si l'on s'arrange de manière à amener dans la zone active de l'arc la quantité convenable de matériaux convenablement composés, le four doit avoir un rendement maximum. La seule façon d'augmenter peut-être le rendement serait de chauffer au préalable les matériaux et l'on pourrait peut-être employer dans ce but l'oxyde de carbone qui se dégage en quantité énorme (il se produit environ 1 tonne d'oxyde de carbone pour 2 tonnes de carbure).

» Nous pouvons citer un cas typique où les prévisions du constructeur du four se sont bien vite montrées inexactes : une maison espagnole s'était procuré en Angleterre des fours qui devaient donner 12 kg de carbure par cheval-jour, mais dès que l'on commença à travailler, tous les fours se mirent à fondre. Là-dessus on se procura des fours d'une maison de Francfort. Les autres appareils vinrent également d'Allemagne (broyeur, malaxeur, dynamo de 2000 ampères et de 50 volts). L'installation coûta un argent fou : droits d'entrée élevés, longs transports jusqu'au pays et dans le pays même; l'usine se trouve en effet dans les Pyrénées à 1000 m au-dessus du niveau de la mer, à environ 5 lieues de la plus proche station de chemin de fer, auprès d'une chute du Tejo. On doit considérer l'installation comme provisoire. On est en train de créer une usine analogue sur l'Ebre, un peu en aval de l'endroit où la fabrique de Griesheim construit actuellement une usine électrochimique pour alcali et chlorure de chaux.

» Les chutes d'eau sont nombreuses en Espagne et extrêmement peu coûteuses, le gouvernement n'exigeant aucune rétribution pendant les dix premières années. Cette mesure intelligente est très favorable au développement de l'industrie du pays, aussi les filatures et les tissages ont pris un tel essor en Catalogne que cette province peut être presque mise en parallèle avec les centres allemands correspondants. On conçoit qu'une contrée aussi riche en chutes d'eau faciles à acquérir se prête admirablement à la fabrication du carbure et cela d'autant plus que la main-d'œuvre humaine est peu dispendieuse, que la chaux se trouve sur place et qu'il suffit d'aller la quérir sans rien demander à personne. Il est vrai qu'il faut faire venir le coke d'Angleterre. En fait on est sur le point de fabriquer en Espagne de grandes quantités de carbure; l'usine que l'on va établir sur l'Ebre doit produire annuellement 30000 tonnes. On demandera peut-être pourquoi des quantités aussi considérables. C'est qu'en Espagne, outre les besoins de l'éclairage il faut tenir compte d'un emploi qui, d'après les expériences préliminaires, absorberait d'énormes masses de carbure, à savoir : la destruction du phylloxéra. On sait quels ravages terribles cet insecte a causés en

Espagne. Si l'expérience définitive prouvait que le carbure détruit avec efficacité cet ennemi si redouté de la vigne, la découverte aurait la plus haute importance économique, non seulement pour l'Espagne, mais pour tous les pays qui cultivent la vigne.

» Nous n'insisterons pas sur la construction des fours à carbure. On peut consulter à ce sujet l'excellent petit livre de Borchers [1].

» La marche d'une fabrique de carbure est extrêmement simple. Le coke et la chaux sont moulus, le coke un peu plus finement que la chaux, puis les deux substances sont mélangées en quantités telles que l'oxyde de calcium et le carbone soient réunies en proportions à peu près théoriques. Ce mélange est envoyé au four d'une façon continue. On prétend que pendant l'opération la chaux fond et que pour cette raison il est permis d'employer de la chaux d'un grain plus grossier. Pour trancher la question nous avons fait des essais directs sur une échelle un peu grande; ces expériences ont montré que dans les conditions exactes où le mélange de coke et de chaux fournit facilement le carbure, la chaux n'est pas fusible, mais qu'une portion notable de cet oxyde se volatilise et se dépose dans le canal abducteur des gaz sous la forme d'un sublimé extrêmement fin. Nous sommes porté par conséquent à attribuer à la chaux en vapeur un rôle dans la formation du carbure.

» Les fours actuellement en activité ne sont pas organisés pour l'enlèvement absolument continu du carbure fondu; le four produit de gros blocs qui après leur sortie et leur refroidissement sont cassés en morceaux et renfermés à l'abri de l'air. En Amérique on produit maintenant des morceaux dont le poids atteint 200 kg. Quand le four est à peu près bien conduit, chaque bloc est homogène et la composition des divers fragments est aussi approximativement constante.

[1] *L'Éclairage Électrique*, 1897, t. XI, p. 380. Voir aussi le livre très complet et très consciencieux de M. Pellissier, *L'Éclairage à l'Acétylène*, 1897, p. 36 à 66. (*Réd.*)

» Dans les blocs de carbure solidifié, à la partie inférieure, se trouvent encastrées fréquemment des boules métalliques brillantes formées de ferro-silicium et provenant de l'oxyde de fer et de la silice des cendres du coke. La formation de ce siliciure de fer et sa réunion en régules assez gros est très remarquable si l'on réfléchit dans quel état d'extrême division se trouvent les composants dans les matériaux primitifs. Cette production est la preuve que dans le four le carbure est amené par la fusion à un état suffisamment fluide pour qu'il puisse jouer le rôle de dissolvant. Malgré cette fluidité une partie seulement du carbure s'écoule quand on ouvre le trou inférieur du four; le reste forme un loup dont la présence peut devenir fort désagréable. C'est pour cette raison que l'on tend à produire dans le four des blocs assez gros et à le construire de telle façon que ces blocs puissent être extraits avec facilité.

« On sait qu'outre les métaux difficilement réductibles on a encore préparé au four électrique des azotures, des phosphures, des siliciures, des carbures et des sulfures. On sait qu'Erdmann a trouvé dans certaines roches des azotures décomposables par l'eau; et cette source d'ammoniaque a peut-être rendu possible l'existence de la première végétation de notre planète. On connaît également l'hypothèse de Moissan [1] relative à la formation des pétroles par l'intermédiaire des carbures. Quel que soit le parti que l'on prenne à l'égard de ces hypothèses, elles sont certainement intéressantes et plausibles et il est probable que dans cet ordre d'idées nous acquerrons plus d'un point de vue nouveau.

» Dans les travaux cités on a employé des fours électriques qui ne permettent pas de mettre en œuvre les produits gazeux de la réaction. On étend considérablement le domaine de ces travaux en se servant d'appareils fermés munis de tubes abducteurs

[1] *Comptes rendus*, 1896, t. CXXII, p. 1462 à 1467. — Voir aussi Berthelot, *Comptes rendus*, 1866, t. LXII, p. 949. (*Réd.*)

(l'orateur présente un four à distiller). Il est ainsi non seulement possible d'opérer la distillation de produits très peu volatils, mais encore d'étudier exactement le processus des réactions dans l'arc électrique. Ce procédé permettra sans doute d'accroître notablement le nombre des quelques réactions réversibles que nous connaissons maintenant.

» Il nous sera également possible d'étudier l'allure des gaz dans l'arc électrique ainsi que les réactions des gaz sur les corps solides. La façon la plus simple de procéder consiste à employer comme charbon supérieur un tube en charbon par l'âme duquel on amène le gaz. Nous avons distillé ainsi divers métaux dans un courant de gaz hydrogène. Bien que nous n'ayons employé que des métaux très purs et que nous ayons purifié et séché l'hydrogène avec le plus grand soin nous n'avons vu se dégager que des vapeurs d'une odeur extrêmement désagréable qui se condensaient ensuite en poudres noires. On a peut-être affaire à des hydrures.

» En amenant du chlore à travers le tube en charbon, il est aisé de préparer des chlorures divers difficiles à obtenir autrement; le carbone lui-même semble pouvoir réagir sur le chlore à la température de l'arc. Il est possible qu'en employant les gaz chlorhydrique et fluorhydrique on arrivera à des carbures halogénés. La chimie organique pourrait en général employer le chauffage électrique pour réaliser ces réactions pyrogénées. Dans ce cas, il serait inutile d'avoir recours à des températures aussi élevées que celles de l'arc; il serait opportun de se servir de fours à résistances électriques, d'autant plus que l'on construit actuellement de ces fours pour les usages les plus divers.

M. Liebmann a fait construire par une maison de Francfort (*Deutsche Gold und Silbersheide Anstalt*) *un four à distillation* qui peut servir à montrer à un auditoire la préparation du phosphore. Ainsi que l'indique Readman, on introduit dans le four un mélange de phosphate de calcium, de charbon et de sable ou mieux de kaolin; la température nécessaire pour la réduction est fournie par l'arc qui jaillit à l'intérieur. Pour éviter toute combustion du phosphore, la préparation et la distillation doivent s'effectuer à l'abri de l'air; pendant toute la durée de la réaction, on fait passer dans le four par des tubes et des ouvertures appropriées un gaz indifférent, par exemple un gaz d'éclairage. Ce gaz permet également une évacuation facile de la vapeur de phosphore qui, à sa sortie du four, est recueilli sous l'eau où on peut refondre le produit. Le phosphore obtenu ainsi est d'une pureté remarquable et les rendements sont bons. Si l'on prend quelques précautions élémentaires le travail est sans aucun danger pour les assistants.

En ce qui concerne le processus chimique de la réaction, on peut encore mentionner que les additions de sable ou de kaolin ne servent qu'à la formation de la scorie et à l'augmentation du rendement. On voit en somme qu'on est là en présence du vieux procédé de réduction indiqué jadis par Wœhler et qui n'a pu être utilisé industriellement faute de températures suffisantes.

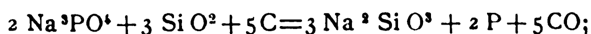
Readman et Parker (brevet anglais, 1888) ont utilisé l'arc électrique comme source de chaleur et ont ainsi rendu pratique la méthode proposée par Wœhler. L'office allemand des brevets s'est rangé à cette façon de voir et n'a pas voulu breveter la méthode Readman et Parker[1]. Le procédé électrique de préparation du phosphore est par conséquent tout à fait libre en Allemagne et cependant ce n'est que tout récemment qu'on a commencé à y fabriquer ce produit. L'orateur blâme cette inaction qui rend l'Allemagne tributaire de l'étranger pour une somme atteignant par an 1 million de marks (la fabrique de Griesheim vient d'entreprendre la préparation du phosphore il y a quelques mois).

Nous ajouterons qu'outre le procédé dont

---

(1) *La Lumière Électrique*, t. XLIII, p. 538, 12 mars 1892; t. XLVI, p. 234, 29 octobre 1892; t. XLVII, p. 593, 25 mars 1893.

on vient de parler, il en existe une série de nouveaux, tels que le mode de préparation de Robinson, modification de celui de Readman-Parker, le procédé électrique de Desjardins (phosphate de soude, sable et charbon)



$$2\,Na^3PO^4 + 3\,SiO^2 + 5C = 3\,Na^2\,SiO^3 + 2\,P + 5CO;$$

et la méthode brevetée en Allemagne, du professeur Rossel, de Berne, qui réduit les métaphosphates avec de la poudre de zinc ou de l'aluminium.

Un fait qui montre combien la méthode électrique de Readman et Parker a d'importance, c'est que la nouvelle grande fabrique de phosphore de Wedensfield (Angleterre) passe pour produire dès maintenant plus de phosphore que toutes les autres fabriques du monde réunies.

Cet exemple est une preuve de plus des résultats brillants qu'il est possible d'atteindre par les moyens électrochimiques; ces derniers sont peut-être destinés à détrôner peu à peu tous les autres.

M. Liebmann termine en remerciant M. Moissan qui a eu l'obligeance d'envoyer à la Société des échantillons de ses diverses préparations. Ces corps se rapportent principalement aux métaux rares. On doit signaler de beaux cristaux de carbure de calcium et divers carbures et borures métalliques que M. Moissan a été le premier à préparer en quantités notables et qu'il a étudiées de près. L'orateur mentionne également le nouveau livre de Moissan sur le *Four électrique*, traduit en allemand par Th. Zettel, ainsi que les autres ouvrages du professeur français; il ajoute que par ces envois Moissan a voulu montrer le grand intérêt qu'il prend aux efforts et aux travaux de la Société.

M. Borchers fait observer que la température de l'arc est inutile pour la réduction des phosphates par le charbon; dans des essais de réduction des scories Thomas, il obtint, au lieu du phosphure de calcium espéré, du carbure de calcium et des vapeurs de phosphore. On avait cependant affaire à un phosphate sans aucune addition de silice. Ainsi le carbone déplace le phosphore du phosphure de calcium sans que la présence de la silice soit nécessaire et sans que l'on soit forcé de recourir à la température de l'arc électrique.

M. Liebmann en convient, mais il pense qu'une très haute température seule permet d'atteindre *industriellement* des rendements suffisamment élevés (86 p. 100).

(*A suivre.*)

P.-Th. Muller.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Lampe à arc Weber.

Le mécanisme de la lampe Weber se compose de deux masses de fer A, A', solidaires d'un cadre en cuivre B, B' et placées de chaque côté d'une poulie folle sur son axe commun. Cette poulie porte sur sa périphérie deux gorges dont l'une reçoit le cordon qui supporte les porte-charbons; l'autre gorge reçoit un cordon métallique qui sert de frein et a pour objet d'immobiliser la poulie folle. Tant que cette corde frein est tendue, la poulie est fixe, mais dès qu'elle est relâchée, cette poulie folle devient libre et, entraînée aussitôt par le poids supérieur du porte-charbon positif, au moyen du cordon qui le relie à la poulie, celle-ci tourne et permet aux porte-charbons de se rapprocher.

Le fonctionnement de la lampe consiste donc à immobiliser et à rendre libre alternativement la poulie folle. Ce mouvement est obtenu automatiquement de la manière suivante. Nous avons déjà vu que les deux masses de fer sont solidaires du cadre de cuivre. Nous remarquerons d'autre part que la corde frein est fixée par une de ses extrémités C sur ce

cadre en cuivre B B′, au moyen d'une vis creuse D dans laquelle elle est retenue par un nœud ; elle fait un tour presque complet sur la poulie et vient se fixer par son autre extrémité au moyen d'un bouton sur un ressort à boudin enfermé dans un petit tube en cuivre E. Le ressort à boudin est destiné à donner de l'élasticité au frein.

A mesure que l'arc lumineux augmente, la force d'attraction de l'électro-aimant devient plus grande et bientôt assez forte pour attirer progressivement les deux masses de fer A, A′ dans le champ de l'électro-aimant. Dans ce mouvement, les deux masses de fer A, A′ entraînent le cadre de cuivre B B′ en le soulevant par l'extrémité B, où se trouve la vis D du frein. Cette corde frein se trouve ainsi relâchée et tend à rendre sa liberté à la poulie folle. Dès que celle-ci est suffisamment libre, elle est entraînée dans un très léger mouve-

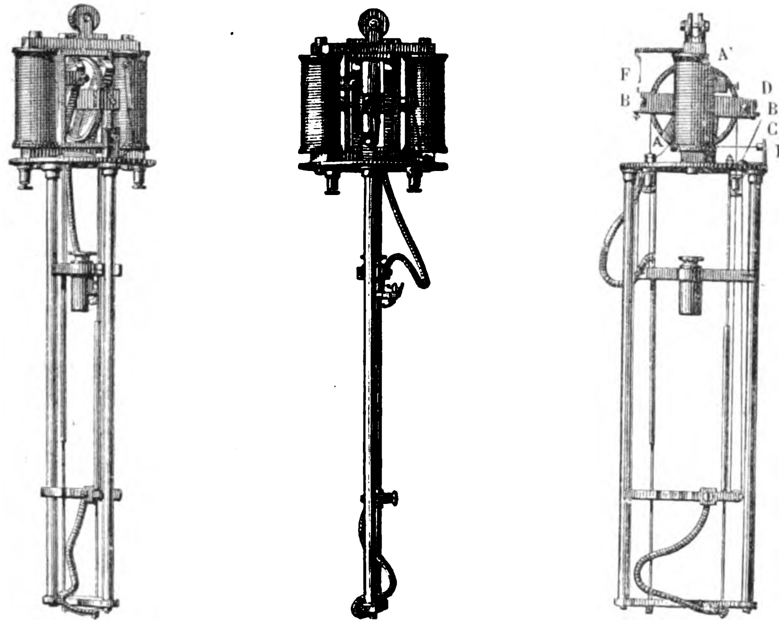


Fig. 1 à 3. — Lampe à arc Weber.

ment de rotation par le poids du porte-charbon, les charbons se rapprochent et l'arc reprend sa dimension normale. Au même moment, la force d'attraction de l'électro-aimant se trouvant diminuée, les masses de fer sont ramenées en arrière et en dehors du champ d'attraction de l'électro-aimant par le ressort vertical F fixé au cadre de cuivre du côté opposé au frein.

Tout le mécanisme étant ainsi revenu à sa position primitive, la même opération recommence.

J. R.

Le chemin de fer électrique de la Jungfrau.

On sait que la construction de ce nouveau chemin de fer de montagne a fait l'objet d'un concours, et l'on trouvera plus loin (p. 45) les noms des auteurs de projets auxquels des prix ont été décernés. Nous donnons ci-après sous forme de tableau les détails du profil de cette ligne.

Le profil comprend du Mœnch à Aletsch une partie descendante ; à la première de ces stations sera établi un garage où se fera le croisement des trains montants et descendants. La ligne commence à la station de Scheidegg en embranchement sur le chemin de fer de la Wengernalp. La première section de Scheidegg au glacier de l'Eiger doit être à l'heure actuelle à peu près terminée. Le tunnel commence à environ 2,5 km du point de départ et s'étend, avec de rares interruptions, jusqu'au sommet.

D'un article de M. Strub, auteur du projet placé en première ligne, nous empruntons les renseignements qui suivent. Le concessionnaire dispose des forces hydrauliques des deux bras de la Lutschine, à Burglauenen et Lauterbrunnen. Les mesures faites l'année dernière ont montré que le débit moyen est à Burglauenen de 17,5 m^3 : seconde et à Lauterbrunnen de 15 m^3 : seconde. Dans la première localité, la différence de niveau le long de 1 900 m de la rivière fournit, avec un débit de 6 m^3 : seconde environ 9000 chevaux; l'autre branche donne entre deux points distants de 1 313 m une chute qui fournit avec le même débit 2 130 chevaux. On a commencé par la mise en œuvre de la chute de Lauterbrunnen et la construction de l'usine est déjà avancée.

Les variations du débit de la Lutschine sont parallèles à celles de l'affluence des touristes. En été, tandis qu'ailleurs il y a pénurie d'eau, la Lutschine est grossie par la fonte des neiges. Le débit minimum de 1,7 m^3 : seconde se produit en hiver, quand les services de transport sont interrompus faute de voyageurs.

STATIONS	ALTITUDE		DISTANCE		
	Au-dessus de la mer.	Entre stations.	Du point de départ.	Entre stations.	Rampe maxima.
	m	m	km	km	p. 100
Petit Scheidegg	2064	....	»	....	....
	....	257	....	1,9	20
Glacier de l'Eiger	2321	....	1,9	....	....
	....	491	....	1,5	25
Grindelwaldblick	2812	....	3,4	....	....
	....	458	....	2,4	25
Kalifirn	3270	....	5,8	....	....
	....	305	....	1,9	25
Mœnch	3575	....	7,7	....	....
	....	— 182	....	1,8	— 12
Aletsch	3393	....	9,5	....	....
	....	700	....	2,7	25
Ascenseur	4093	....	12,2	....	....
	....	73		»	vertical
Jungfrau sommet	4166	....	»	....	....

L'unité génératrice est de 500 chevaux, puissance largement suffisante pour la traction des trains sur les rampes de 25 p. 100 à une vitesse de 8,5 km l'heure et pour assurer le service de l'éclairage et du chauffage.

Un train absorbe la puissance suivante :

Puissance à la jante de la roue pour une charge brute de 26 tonnes :

$$\frac{26\,(250 + 10)\,8{,}5}{3{,}6 \times 75} = 211 \text{ chevaux.}$$

Rendements :

Moteur avec engrenage	0,70
Ligne secondaire, transformateur	0,84
Ligne primaire	0,92
Dynamo	0,93
Produit	0,50

Puissance sur l'arbre de la turbine :

$$\frac{212}{0{,}5} = 424 \text{ chevaux.}$$

On aurait pu établir une ligne spéciale pour l'éclairage, mais on a jugé plus prudent de placer aux stations des batteries d'accu-

mulateurs chargées sur place. Pour le chauffage, les batteries auraient été trop importantes, et ce service peut très bien être effectué par le courant pris sur la ligne de traction. Pendant la période de construction, on emploiera le courant pour actionner les perforatrices et pour la cuisine.

La charge maxima prévue correspondant à la traction simultanée de quatre trains pourra être fournie par l'usine de Lauterbrunnen, d'une puissance de 2 130 chevaux. Cette usine emprunte sa force motrice à la Lutschine par un canal d'amenée de 180 cm de diamètre et une conduite en fer de même diamètre. Le canal de 690 m de longueur avec 3 p. 1000 de pente est composé de tuyaux de 6 m de longueur et 5 mm d'épaisseur de paroi, dans la saison de fort débit, il aura à supporter une certaine pression; le passage du canal à la conduite est formé par un réservoir qui permet l'épuration et facilite le réglage du débit.

La conduite sous pression, de 1 625 m de longueur, a dans sa partie inférieure des épaisseurs de parois de 7 mm réduites à 6 mm dans la partie supérieure. A 100 m environ en amont de l'usine la conduite traverse la rivière sur un pont en fer; elle contient des dispositions spéciales pour prévenir les effets nuisibles des variations de température et des coups de bélier. Chaque branchement conduisant aux turbines est muni d'un vannage.

La rivière présente une pente moyenne de 3,2 p. 100, ce qui donne pour la distance de 1 315 m une chute totale de 40,8 m. Au débit de 6 m^3 : seconde correspond une perte de charge de 5,1 m de sorte que la chute disponible est de 35,5 m.

L'installation provisoire comprend deux turbines de 500 chevaux et deux turbines de 25 chevaux pour l'excitation. Les grandes turbines sont du système Girard et ont leur axe horizontal ; chacune est munie d'un régulateur automatique de précision qui doit compenser les variations de charge très considérable de la ligne. Les petites turbines sont également munies de régulateurs automatiques.

Voici les données principales de ces turbines :

	Turbines génératrices.	Turbines d'excitation.
Chute disponible . . .	35 m	35 m
Débit	1430 l : sec	72 l : sec
Puissance garantie. .	500 ch	25 ch
Vitesse angulaire. . .	380 t : sec	700 t : sec

Les dépenses d'installation de l'usine de Lauterbrunnen sont d'environ 558 800 fr qui se répartissent ainsi :

Terrain, frais d'étude.	19 000 fr
Canal d'amenée et barrage.	147 500
Conduite sous pression et pont. . . .	107 300
Quatre unités génératrices complètes.	230 000
Bâtiment, atelier, pont roulant. . . .	55 000
Total.	558 800 fr.

Les frais d'installation par cheval sont donc de 260 fr, chiffre assez faible.

La plupart des électriciens consultés ont recommandé l'adoption des courants triphasés. Chaque turbine commande donc par accouplement direct une génératrice à courants triphasés produisant à 380 tours par minute 7 000 volts avec une fréquence de 38 pér. : seconde. L'excitation est produite par des petites dynamos également calées directement sur les petites turbines ; une seule suffit pour l'excitation des quatre génératrices.

Le concessionnaire est tenu de fournir à la commune de Lauterbrunnen, gratuitement et pendant l'année entière, une puissance électrique de 50 chevaux ; cette puissance peut être fournie sous une tension de $\frac{7\,000}{\sqrt{3}}$ volts par une des phases.

La ligne primaire conduit de l'usine à la station de Scheidegg où la tension est réduite à 500 volts. Cette ligne est formée de trois fils de cuivre écroui de 7,5 mm de diamètre conduits sur poteaux de 10 m et franchit une différence de niveau de 1 300 m. La ligne secondaire est aérienne jusqu'à l'entrée du tunnel ; elle est formée de fil de cuivre de 9 mm supporté à 4 m au-dessus du niveau des rails par des fils tenseurs fixés à

des isolateurs doubles. Les mêmes poteaux portent les fils de la ligne téléphonique et les fils de mesure. Le système de canalisation à employer sous le tunnel n'est pas encore déterminé.

Douze stations de transformation sont échelonnées le long de la ligne ; l'une est spécialement affectée au service de l'ascenseur, les autres sont espacées de 1 km sur les rampes de 25 p. 100 et de 1,75 à 2 km le long des rampes de 10 à 15 p. 100.

Les trains se suivant à des intervalles de 1 km ou de 7 minutes, l'arrêt au point de croisement sera de 20 minutes. Cette station de garage est réunie à la ligne par un tunnel latéral de plusieurs centaines de mètres de longueur, qui sera desservi par un véhicule électrique léger.

Les trains se composent d'une voiture locomotive et d'une voiture remorquée. Le poids de la locomotive seule est de 12 tonnes ; elle repose par des ressorts à boudin assez rigides sur deux essieux réunissant les roues de guidage courant sur les rails. Entre ces essieux sont disposés les essieux moteurs portant les roues d'entées qui s'engagent dans la crémaillère. Chacun de ces deux essieux est attaqué par l'intermédiaire d'un engrenage par un moteur de 125 chevaux tournant à 800 tours par minute ; la puissance maxima de 300 chevaux que ces moteurs peuvent développer correspond à un courant de 235 ampères par phase de la ligne secondaire.

La largeur de la voie entre rails est de 1 m, les deux pignons engrenant avec la crémaillère ont 70 cm de diamètre, l'effort maximum aux dents est de 6500 kgs, le diamètre des roues de guidage est de 60 cm.

La cabine du conducteur est, à cause du froid, construite en bois et complètement fermée. La locomotive est munie de plusieurs freins :

1° Sur l'arbre de la dynamo un frein électrique qui entre en action dès que le courant d'alimentation vient à manquer. Un régulateur électrique est combiné avec ce frein pour interrompre le courant si la vitesse devenait exagérée. Le courant peut également être interrompu de l'extérieur à l'aide d'un cordon de tirage.

2° Un frein à main qui agit par l'intermédiaire de leviers sur des sabots en bronze freinant les pignons moteurs.

3° Un frein-grip dont les semelles en bronze s'appliquent sur les faces latérales des rails ; ce frein peut servir pour le réglage de la vitesse à la descente.

Les voitures ont un poids propre de 2600 kg et peuvent porter 8000 kg, le rapport du poids mort au poids utile est de 32 p. 100.

L'usine hydraulique et l'installation électrique sont construites par les maisons suivantes : Rieter et Cie ; Escher Wyss et Cie ; ateliers d'Œrlikon ; Brown, Boveri et Cie. Les locomotives sont fournies par la Fabrique suisse et les voitures par la Fonderie de Berne.

Nous nous réservons de compléter ces renseignements quand la construction de cette intéressante installation sera plus avancée.

J. R.

L'emploi de l'électricité pour la fusion métallurgique.

Par F.-H. Leeds [1].

Se plaçant au point de vue des usines métallurgiques, situées dans des régions où le combustible peut être obtenu à bon compte, l'auteur estime que l'électricité produite par l'intermédiaire de la machine à vapeur revient environ trois fois plus cher que produite en utilisant des forces hydrauliques. Comme toute la valeur du charbon réside dans la chaleur que sa combustion dégage, et que la machine à vapeur est un intermédiaire extrêmement coûteux, il est intéressant d'examiner comment le combustible est utilisé en métallurgie quand on l'emploie directement ou quand on passe d'abord par l'intermédiaire de l'électricité.

[1] *The Electrician*, 22 janvier 1897.

Si l'on ne considère que la quantité totale de chaleur produite, la comparaison est naturellement tout en faveur de l'emploi direct du charbon. Admettons pour celui-ci un pouvoir calorifique de 7400 calories par kilogramme et le prix anglais de 12 fr la tonne. L'auteur estime que la machine à vapeur peut fournir l'énergie électrique à raison de 2,5 cent le kilowatt-heure, et qu'avec une force motrice hydraulique le prix de revient est trois fois plus petit que le précédent. Dans ces conditions les quantités de chaleur produites dans les trois cas pour une dépense de 1 cent sont les suivantes :

	Calories kg-d.	Valeurs relatives.
Charbon.	6250	18
Force motrice hydraulique et électricité . .	1040	3
Vapeur et électricité . .	346	1

Malgré ces énormes écarts entre ces trois sources directes ou indirectes de chaleur, le rendement ultime d'une opération métallurgique peut être meilleur quand on emploie l'électricité que lorsqu'on utilise directement la chaleur de combustion, car ce rendement dépend de celui de l'appareil de chauffage, c'est-à-dire de la manière dont la chaleur disponible est utilisée.

L'électricité fournit la chaleur pour ainsi dire sans sous-produit, tandis que le charbon exige la présence d'oxygène, et comme l'air contient les quatre cinquièmes de son volume d'azote, c'est un volume gazeux cinq fois plus grand que celui de l'oxygène nécessaire qu'il faut porter à la température de la flamme. Mais ce qui est plus important, c'est que le charbon laisse comme résidu des cendres, du mâchefer et des traces de carbone qui peuvent se mélanger au métal en fusion et en diminuer notablement la valeur commerciale. Les combustibles gazeux sont exempts de certains de ces inconvénients ; mais comme il faut toujours leur amener de l'air en quantité suffisante, ils exigent des fours de grandes dimensions, où les matières à traiter n'occupent qu'une petite place.

Pour les raisons ci-dessus, il est dans bien des cas impossible d'opérer la fusion sur la sole d'un four, et il est nécessaire de placer le métal à fondre dans un creuset en matière réfractaire dont les parois doivent être portées à la température voulue avant que le contenu du creuset puisse atteindre la température de fusion. Il en résulte une nouvelle perte de chaleur d'autant que les matières réfractaires sont de mauvais conducteurs.

Dans le cas du four électrique, l'énergie est apportée directement à l'endroit d'utilisation, et tout en présentant toutes sortes d'avantages quant à la pureté des produits, l'opération n'exige d'autre matériel que le creuset qui constitue lui-même le four dont les parois, en raison de la faible conductivité, servent à ralentir le refroidissement. De plus, le métal étant à une température plus élevée que le vase qui le contient est moins susceptible d'être contaminé par les matières dont ce dernier est formé.

Beaucoup d'opérations industrielles impliquent la fusion des métaux en creusets ; on reconnaît depuis longtemps que le chauffage des creusets dans des fours est accompagné d'énormes pertes de chaleur, mais récemment seulement des nombres ont été publiés qui tendent à montrer que dans ce genre d'opérations 3 à 4 p. 100 seulement de la puissance calorifique du charbon est utilisée.

Pour vérifier cette assertion, considérons par exemple la quantité de combustible consommée dans la fusion du fer et de l'acier :

1° La quantité de charbon nécessaire au puddlage du fer est approximativement égale au poids du métal.

2° Pour produire une tonne de lingots d'acier doux par le procédé basique, il faut dépenser 600 kg de charbon.

3° Dans le procédé acide, la quantité correspondante est de 500 kg.

4° Ces opérations sont plutôt des exemples de chauffage en fours, non en creusets. Pour la fusion en creusets d'une tonne d'acier, les traités indiquent 1,5 tonne de charbon, en employant le régénérateur Siemens.

5° Greenwood indique 2,5 à 3 tonnes de coke pour fabriquer une tonne d'acier de creuset.

Suivant Bède, la chaleur spécifique des métaux entre 0° et les températures élevées peut être exprimée par

$$c = k + at.$$

Dans le cas 1, $k = 0,1053$, $a = 0,000071$ et $t = 1650°$ C; par conséquent $c = 0,22245$. En ne tenant pas compte de la chaleur latente de fusion qui est probablement faible, il faut donc $1650 \times 1000 \times 0,22245 = 367000$ calories pour fondre une tonne de fer, chaleur que fournissent environ 50 kg de charbon. Comme on en brûle en réalité une tonne, le rendement de l'opération est donc de 5 p. 100. Des calculs analogues appliqués aux autres cas, où la température est de 1800°, montrent que le poids théorique de charbon nécessaire pour la fusion d'une tonne d'acier est de 60 kg; le tableau suivant donne les rendements obtenus.

Un calcul analogue a été publié récemment par M. Reed relativement à l'emploi du charbon dans la préparation du zinc. L'auteur indique que dans la pratique il faut 6,7 kg de charbon pour réduire 1 kg de zinc, d'où il résulte que le rendement général du procédé est de 2,7 p. 100.

RENDEMENTS DE FOURS

	COMBUSTIBLE kgr.	RENDEMENT p. 100.
Théorie.	60	100
Four, procédé acide. .	508	11,9
» » basique.	610	10
Puddlage du fer. . . .	1000	5
Creuset, Siemens . .	1520	4
» Greenwood. .	2530	2,4
» » . .	3040	2

La moyenne des quatre dernières valeurs de ce tableau est 3,5; on voit que pour être équivalent au chauffage direct il suffit que le rendement du four électrique soit de 21 p. 100 avec des turbines comme source d'énergie, et de 63,4 p. 100 avec des machines à vapeur. Il reste à savoir si ces nombres peuvent être atteints. Les données pour l'évaluation des rendements du chauffage électrique sont assez rares.

Dans une communication à l'Association britannique, Dagger indique que le rendement en aluminium sous forme d'alliage obtenu à l'usine de Milton de la Cowles Aluminium C° était de 1 kg par 40 chevaux-heure. Enregistré sous cette forme, le résultat n'est pas directement comparable aux précédents; car en dehors de la chaleur à fournir à tous les produits contenus dans le four, le courant doit aussi apporter la quantité beaucoup plus considérable absorbée par l'opération purement chimique de la décomposition du corindon.

Pour libérer 1 kg d'aluminium il faut 7260 calories; 40 chevaux-heure représentant 25800 calories, le rendement purement chimique du four était donc de 28,4 p. 100. La charge se composait de 2 kg d'alumine, 4 kg de cuivre et 1 kg de charbon. Suivant Richards, la température à laquelle le charbon réduit l'alumine est de 1980°, soit en nombre rond 2000°. Étant donné que d'après la formule de Bède pour le cuivre ($k = 0,091$, $a = 0,000023$, $t = 2000°$) la chaleur spécifique moyenne de ce métal entre 0° et 2000° est 0,137, le cuivre de la charge absorbait 1086 calories. La valeur de Dewar pour la chaleur spécifique moyenne du charbon jusqu'à 2000° est 0,42, ci 834 calories. Malheureusement, cette constante n'a pas été déterminée pour l'alumine, le chiffre de Regnault (0,19762 pour le corindon) n'étant valable que jusqu'à 100°. On ne sera pas loin de la réalité en doublant ce chiffre; alors l'alumine prend 1570 calories.

Le rendement physique du four était donc de $1086 + 834 + 1570 = 3490$ calories ou 13,6 p. 100; sa puissance totale est représentée par $7260 + 3490 = 10750$ calories ou 42 p. 100 en tout. Mais il faut remarquer qu'une partie de cette chaleur est empruntée à la combustion du charbon du mélange qui

est transformé en oxyde de carbone. Cette combustion partielle de 1 kg de charbon fournit 2420 calories (9,5 p. 100). Le rendement net du four Cowles est donc de 32,5 p. 100. (Voir tableau.)

RENDEMENT DU FOUR COWLES

	CALORIES dépensées.		RENDEMENT p. 100.
Théorie.		25800	100
Réduction de l'alumine .	7260		
Chauffage de l'alumine .	1570		
» du cuivre. . .	1086		
» du charbon. .	834		
Chaleur due à la combustion du charbon, à déduire.		10750 brut 2420	42
		8530 net	32,5

La production hydro-électrique de la chaleur coûtant six fois plus cher que le chauffage direct, le rendement du four électrique est à diviser par 6 pour le comparer à celui des fours ordinaires : le chiffre 5,4 pour l'électricité est donc à opposer au chiffre 3 pour le chauffage direct. Si l'électricité était produite à l'aide de machines à vapeur, les frais de production seraient encore trois fois plus élevés et le chiffre de proportionnalité s'abaisserait à 1,8. On voit que dans le cas de la vapeur il suffirait d'élever le rendement d'ensemble des deux tiers pour l'amener au niveau du chauffage ordinaire.

Que ce rendement puisse être plus élevé, quelques remarques le montreront. En premier lieu, dans l'exemple pris pour le four électrique la température est beaucoup plus élevée que dans les opérations métallurgiques prises pour termes de comparaison, et l'on sait que les pertes de chaleur augmentent bien plus vite que la température. En second lieu, les matières employées, à l'exception du cuivre, ont des chaleurs spécifiques élevées, même aux basses températures, et donnent donc lieu à une plus grande perte de chaleur que les métaux. Enfin, il est douteux que la forme rectangulaire des fours électriques soit la plus avantageuse ; il serait peut-être préférable, pour réduire la surface par rapport à la capacité, d'adopter la forme cylindrique habituelle des creusets avec des électrodes verticales, comme on le fait dans l'électrolyse des sels fondus.

Toutefois, ce qui précède démontre que partout où l'on dispose de forces motrices hydrauliques il est beaucoup plus économique d'effectuer les fusions en creusets à l'aide de l'électricité que par le chauffage direct au charbon ; et qu'il est pour le moins possible, lorsque la pureté des produits est particulièrement importante, que dans l'avenir on emploiera le charbon pour produire de l'énergie électrique plutôt que de l'appliquer directement au chauffage des fours à creusets.

A. H.

Ce que coûtent les arrêts et les démarrages des voitures de tramways;

Par H.-S. HERRING [1].

On se rend généralement peu compte des dépenses considérables d'énergie qu'entraînent les arrêts continuels des voitures de tramways. On sait qu'elles sont très importantes, mais il est rare qu'on les évalue en chiffres. Le travail de M. Hermann S. Herring mérite donc une attention particulière.

Pour déterminer la dépense entraînée par chaque arrêt, on faisait circuler la même voiture, sur la même ligne, dans des conditions aussi identiques que possible, en faisant varier seulement le nombre d'arrêts, et l'on mesurait, au moyen d'appareils placés sur la voiture, la dépense d'énergie dans chaque cas. On répétait chacune des expériences un nombre de fois suffisant pour obtenir des résultats concordants. Si W est la dépense correspondant à n arrêts et W′ la dépense

(1) *American Electrician.*

correspondant à n' arrêts, $\frac{W-W'}{n-n'}$ représente l'excès de dépense, par arrêt.

Cette valeur varie suivant le poids des voitures, l'état des voies, leur profil, la vitesse maxima atteinte, etc., entre 75 et 100 watts-heure; pour une voiture de 7,5 à 8 tonnes, dans des conditions moyennes, elle est de 85 watts-heure environ.

Supposons que l'énergie électrique coûte 5 centimes le kilowatt-heure, chaque arrêt coûtera 0,425 cent. Admettons, en outre, qu'à chaque voyage chaque voiture fasse un arrêt inutile; à raison de 15 voyages par jour, cela fait une dépense, par voiture, de 6,375 cent., ou 23,37 fr par an; une compagnie employant 100 voitures perdrait donc, par cette cause, en apparence insignifiante, 2 337 fr par an, rien qu'en énergie électrique, La dépense totale serait encore plus élevée, car il faut tenir compte de l'usure des freins et des roues, de la fatigue du matériel due aux arrêts et aux démarrages, et enfin de la plus grande puissance du matériel générateur nécessitée par la dépense supplémentaire d'énergie électrique. L'économie réalisée est, bien entendu, proportionnelle au nombre d'arrêts évités.

Encore ces chiffres ne correspondent-ils qu'à des moyennes obtenues avec des mécaniciens plus ou moins habiles; la plupart des mécaniciens s'imaginent qu'ils ont intérêt à démarrer brusquement afin d'atteindre en quelques mètres la vitesse maxima; puis à maintenir le courant jusqu'à quelques mètres du point d'arrêt où ils serrent fortement les freins. Si au lieu d'agir ainsi, ils accéléraient graduellement la marche du véhicule au départ, et s'ils interrompaient le courant à une distance suffisante du point d'arrêt pour que la voiture parvienne en ce point seulement par sa force vive, il ne leur faudrait pas plus de temps pour faire le même trajet (à peine 1 ou 2 p. 100 de plus), et ils économiseraient 20, 25 ou 30 p. 100 de l'énergie électrique dépensée sur le parcours total. L'expérience en a été faite souvent [1] : elle prouve tout l'intérêt que les compagnies de tramways ont à donner à leurs mécaniciens une instruction pratique à ce sujet.

[1] Voir *L'Éclairage Electrique*, t. V, p. 223 et p. 450 à 458.

Une voiture du poids précédent dépense en moyenne 800 ou 850 watts-heures par kilomètre; admettons que chaque voiture fasse un parcours total de 175 km par jour et que la compagnie possède 100 voitures en service. Par l'emploi d'un personnel intelligent et bien entraîné, elle peut réaliser une économie d'au moins 10 p. 100 sur l'ensemble de la dépense de courant; cela représente annuellement $0,10 \times 0,85 \times 175 \times 365 \times 100 = 643\,938$ kilowatts-heures, soit, à raison de 0,05 fr le kilowatt-heure, 32 197 fr, somme plus que suffisante pour justifier le temps passé à instruire le personnel. Cette économie de 10 p. 100 est d'ailleurs un minimum plutôt qu'un maximum. En plus, il faut tenir compte de la moindre fatigue du matériel roulant et de la diminution de puissance du matériel fixe.

En résumé, ces « questions de détail » peuvent, à elles seules, être cause du succès financier ou de la déconfiture d'une exploitation de tramways. Ingénieurs et administrateurs ne sauraient trop y faire attention.

G. P.

Embrochage Chevron. — Installations télégraphiques et téléphoniques entre postes embrochés;

Par S.-B. Pomey [1].

Dans cette note l'auteur donne, d'après les renseignements qui lui ont été communiqués par MM. Chevron et Vallance, inspecteurs à Châlons-sur-Marne, la description de cet embrochage, utilisé depuis plusieurs années sur le fil Châlons-sur-Marne = Sainte-Menehould = Verdun et le fil Châlons-sur-Marne = Épernay = Sézanne, ainsi que les modifications qui lui ont été apportées lors de l'installation de tableaux annonciateurs télégraphiques et de l'utilisation partielle de ces fils

[1] *Annales télégraphiques*, 3e série, t. XXIII, p. 173-187.

pour la télégraphie et la téléphonie simultanées.

Cet embrochage qui permet à chacun des postes embrochés d'appeler l'un des deux autres sans déranger le troisième est représenté, dans sa disposition originelle, par la figure 1. R_1 R_1 R_2 sont les trois rappels embrochés dont le fonctionnement a pour résultat d'actionner la sonnerie S des postes correspondants. Quand un poste veut appeler l'un quelconque des deux autres, il place la cheville du commutateur bavarois C dans la position 2 et le courant qu'il envoie traverse les deux autres postes. Mais les rappels sont intercalés dans le circuit de manière à être traversés en sens inverse par le courant; un seul d'entre eux fonctionne et ferme le circuit de sa sonnerie. Le poste qui n'a pas à répondre n'est pas dérangé. Des commutateurs inverseurs E_1 E_1 E_2 permettent de prendre l'un ou l'autre des pôles de la pile, suivant le poste que l'on veut appeler.

On remarquera le montage particulier du poste intermédiaire. La borne *a* du manipulateur m_1 est isolée et la borne *l* est reliée au milieu des deux bobines du récepteur. Le courant émis par ce poste se bifurque à travers les deux bobines et les deux sections de ligne. Au moment où le poste intermédiaire transmet, les deux autres postes se trouvent ainsi montés en dérivation l'un par rapport à l'autre, tandis que, quand c'est un poste extrême qui envoie un courant, celui-ci trouve les deux autres postes embrochés. Si les deux sections de ligne ne sont pas égales, on ajoute une résistance *r* du côté de la section la moins résistante pour que le courant se partage en parties égales entre les deux stations.

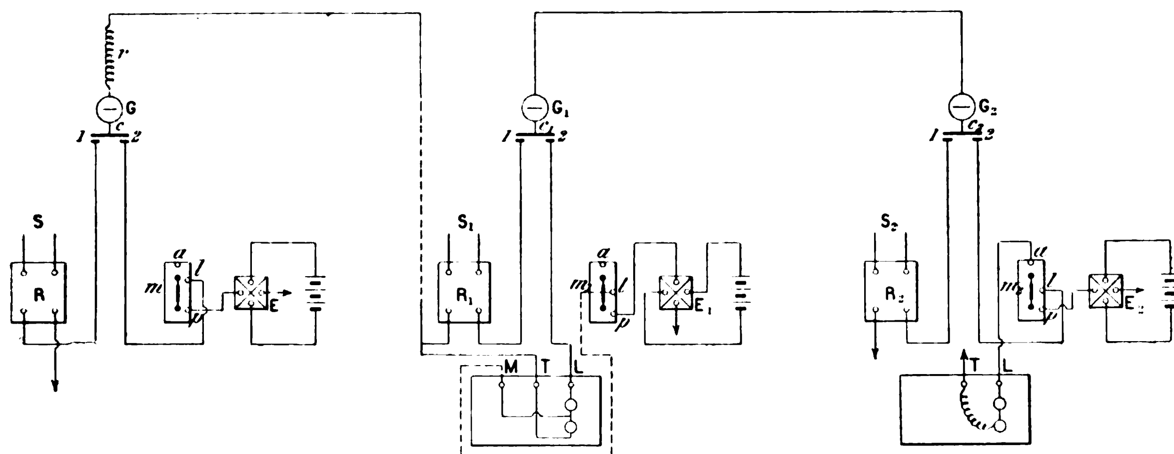


Fig. 1. — Embrochage Chevron. — C, C_1, C_2, commutateurs bavarois; G, G_1, G_2 galvanomètres; S, S_1, S_2, sonneries d'appel; *m*, m_1, m_2, manipulateurs; E, E_1, E_2, commutateurs inverseurs; R, R_1, R_2, rappels.

La pile du poste intermédiaire doit être calculée de façon que les récepteurs des postes extrêmes reçoivent la même intensité de courant, soit qu'ils communiquent avec le poste intermédiaire, soit qu'ils correspondent entre eux.

Après cette description de l'installation primitive, empruntée au *Traité de télégraphie électrique* de M. Thomas, M. Pomey décrit la modification nécessitée par l'emploi d'un tableau annonciateur télégraphique, modification différente suivant qu'il s'agit d'un poste extrême ou d'un poste intermédiaire.

Au poste extrême la ligne aboutit à un commutateur bavarois à deux directions C_1 (fig. 2) comme dans l'installation précédente, et peut alors être renvoyée, soit sur un rappel, soit sur un jack J à deux trous « pour lignes bifurquées ». Le poste extrême reçoit ainsi dans une sonnerie spéciale, par l'intermédiaire

de son rappel, les appels qui lui sont destinés. Il peut communiquer avec l'un ou l'autre

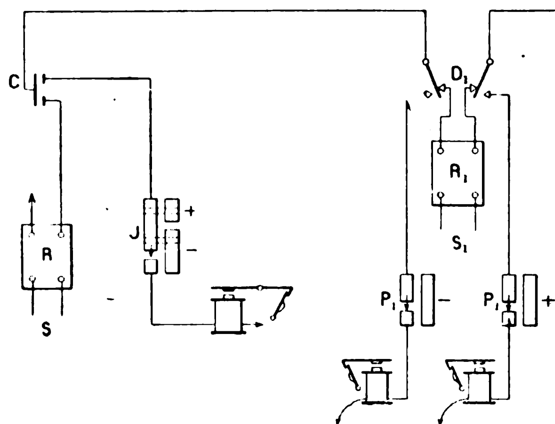


Fig. 2. — Embrochage Chevron avec annonciateurs télégraphiques. — Montage d'un poste extrême et d'un poste intermédiaire.

des deux postes correspondants de l'embrochage au moyen d'un appareil Morse disponible quelconque et en enfonçant dans le jack pour ligne bifurquée la fiche en relation avec cet appareil Morse; il met le fil de ligne de ce Morse en communication avec la ligne embrochée et il prend en même temps par le plot postérieur du jack la pile convenable. Par le trou supérieur, il prend la pile positive et correspond alors avec l'autre poste extrême; par le trou inférieur il prend la pile négative et correspond alors avec le poste intermédiaire.

Au poste intermédiaire, les deux côtés de la ligne aboutissent aux deux leviers mobiles d'une clé double D_1. Dans la position d'attente, les deux côtés sont alors en communication l'un avec l'autre par l'intermédiaire d'un rappel par inversion de courant. Dans la position de travail, les deux brins sont envoyés respectivement à deux plots de ligne simple P_1, P_1 du tableau annonciateur télégraphique. Les blocs postérieurs des jacks correspondants permettent de prendre une pile négative pour travailler avec le premier

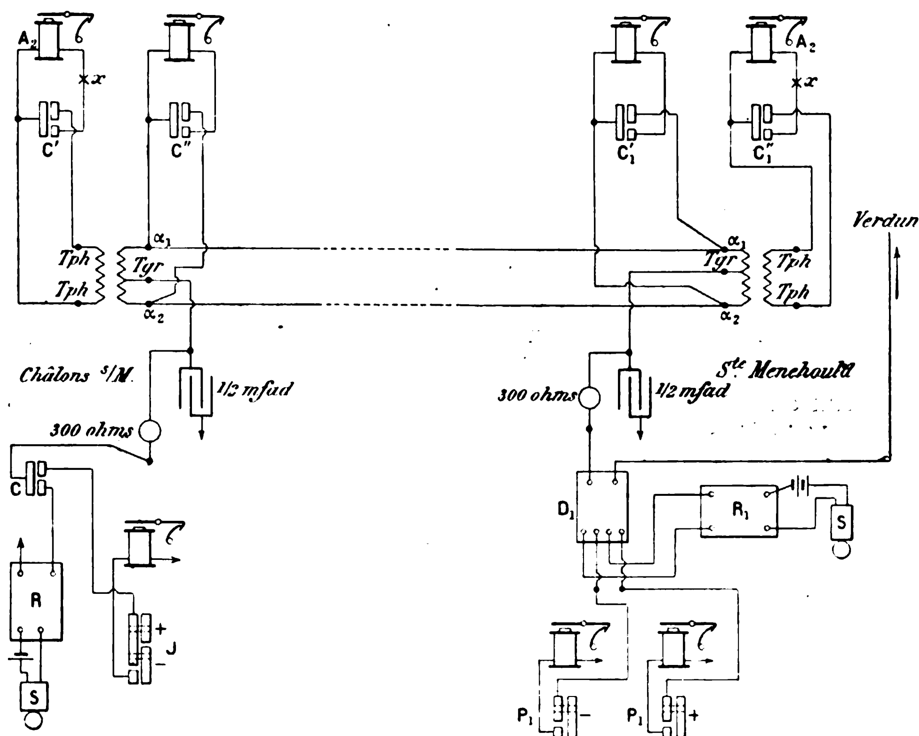


Fig. 3. — Schéma des installations des postes de Châlons et Sainte-Menehould sur la ligne Châlons = Sainte-Menehould = Verdun — Châlons appelle Verdun par + et Sainte-Menehould par — ; Sainte-Menehould appelle Châlons par — et Verdun par +.

poste extrême et une pile positive pour travailler avec le second.

En somme l'embrochage n'existe que pour les rappels; dans la position de travail, la ligne embrochée est coupée, on transmet au Morse sur l'un des côtés tandis que l'autre côté est mis sur annonciateur.

Cette installation, montée par les soins de M. Vallance, sur le fil Châlons-sur-Marne = Sainte-Menehould = Verdun, a très bien fonctionné. La section de Châlons-sur-Marne = Sainte-Menehould était à double fil et constituait d'ailleurs en même temps une communication téléphonique. Ces deux postes étaient alors installés comme l'indique la figure 3. Depuis une nouvelle modification y a été apportée, dans le but de permettre la suppression de la clé double D_1 au poste intermédiaire.

La clé double est remplacée par deux jacks

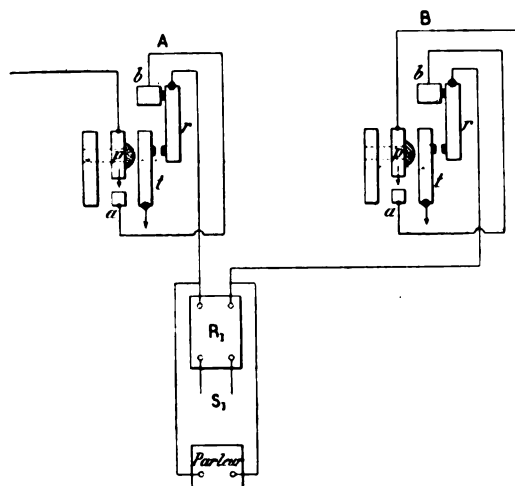


Fig. 4. — Jacks spéciaux du poste intermédiaire dans les nouvelles installations.

spéciaux A et B (fig. 4). Dans chacun de ces jacks le bloc d'annonciateur *a* est relié à un bloc *b* sur lequel vient appuyer un ressort *r*, relié lui-même à une des bornes du rappel par inversion de courant R_1 embroché sur la ligne. Un bouchon isolant *p* pénètre légèrement d'un côté dans le trou du conjoncteur et de l'autre côté appuie sur un ressort *t* qui est en communication avec la terre. Dans la position d'attente le courant peut arriver par A ou B; il traverse alors le rappel R_1 et continue vers le second poste extrême. Dans la position de travail la fiche correspondant à un appareil Morse disponible est enfoncée soit dans le trou du jack A soit dans celui du jack B suivant que l'on transmet au premier ou au second poste extrême; la pile convenable se trouvant prise ainsi en même temps que le rappel se trouve déconnecté d'avec le tronçon de ligne occupé et mis de ce côté à la terre. Le côté de ligne disponible, qui dans la disposition précédente était mis sur l'annonciateur, reste ici sur rappel. La sonnerie ne fonctionnera donc que si le poste intermédiaire est réellement appelé; mais si le poste extrême du côté de la ligne actuellement sur rappel vient à appeler, non le poste intermédiaire, mais l'autre poste extrême, il risque de continuer longtemps en vain des appels qui ne sont perçus nulle part. Pour éviter cet inconvénient, un parleur est normalement en dérivation sur le rappel et permet à l'employé du poste intermédiaire de s'apercevoir des appels destinés à un poste extrême, de donner attente et rappeler en temps utile les correspondants.

M. Pomey décrit ensuite l'installation Châlons-sur-Marne-Épernay, Fère-Champenoise-Sézanne où ces dispositifs ont été employés; voici cette description :

Dans l'installation téléphonique reliant les trois dernières localités; la constitution du circuit est conforme à la figure 5 dans la position d'attente. On voit que chacun des postes extrêmes peut appeler celui des deux postes associés avec lequel il veut communiquer sans déranger le troisième. On voit qu'il peut se mettre en communication téléphonique avec le circuit soit en double fil, soit par l'intermédiaire d'un transformateur. Enfin le poste intermédiaire peut se mettre téléphoniquement en dérivation sur le circuit. S'il a besoin de communiquer téléphoniquement avec l'un des deux autres postes, il peut ainsi s'assurer qu'il ne va pas couper intempesti-

vement une communication en cours. Remarquons en passant, que les circuits des annonciateurs surabondants *a* et *a'* sont coupés en *x x'* et que par suite les courants induits dans les transformateurs par les courants d'appel ne les font pas déclancher, ce qui aurait en effet le double inconvénient d'être inutile et d'être sujet à des irrégularités fâcheuses.

Examinons maintenant les communications du poste intermédiaire (2) dans la position de travail.

Le poste (1) appelle le poste (2) en négatif et le poste (3) en positif; le poste (3) appelle le poste (2) en négatif et le poste (1) en positif. Le poste (2) doit donc appeler le poste (1) et le poste (3) en positif. Pour ne pas déranger celui de ces deux postes qu'il n'appelle pas, il doit donc couper le circuit. Il amène alors le côté (1) sur un jack et un annonciateur particulier et le côté (3) sur un autre jack et un autre annonciateur. (Voir figure 6 le commutateur à quatre directions de Fère-Champenoise.)

Le circuit téléphonique (1), (2), (3) doit donc se diviser à de certains moments en

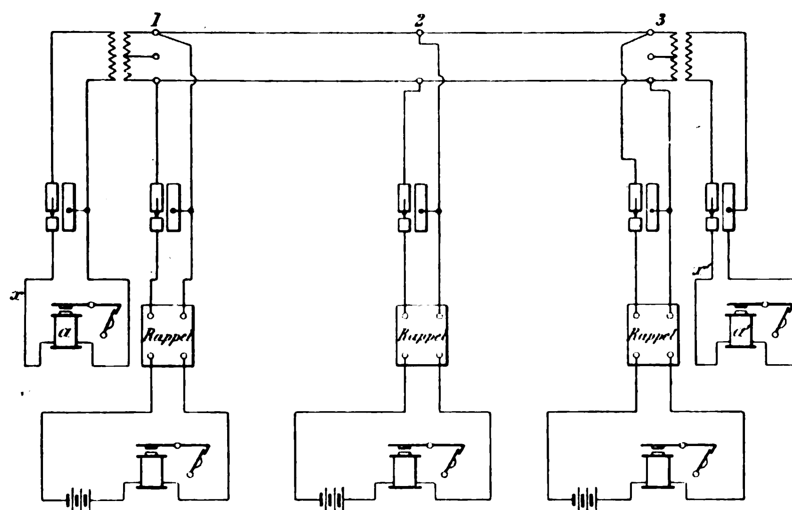


Fig. 5. — Installation d'un circuit téléphonique avec rappels par inversion de courant pour desservir trois localités.

deux circuits téléphoniques distincts (1) (2) et (2) (3). Pour intercaler l'ensemble de ces deux circuits sur un fil télégraphique, il suffit d'employer l'un des dispositifs Cailho ou Picard. En fait, on a installé des bobines Picard à Épernay, Fère-Champenoise et Sézanne. Le poste intermédiaire étant desservi par un réseau téléphonique à double fil, on juge inutile, toutes les fois que la ligne d'abonné à relier au circuit n'est pas déséquilibrée, de se servir du circuit secondaire de la bobine Picard; le dispositif est alors purement et simplement celui de M. Cailho réalisé avec des bobines Picard. Aux postes extrêmes les réseaux sont à simple fil et les transformateurs indiqués sur la figure 5 étaient toujours nécessaires pour les abonnés. Ainsi qu'il vient d'être dit, on a employé pour transformateurs des bobines Picard. Le fil télégraphique comporte alors à chaque poste des bobines graduatrices de 3 000 ohms; de plus un condensateur de 1/2 microfarad est mis en dérivation entre la terre et le côté ligne de chaque bobine graduatrice.

La figure 6 représente l'installation télégraphique par rappels embrochés, Châlons-Épernay-Sézanne, dont la section Épernay-Sézanne, constituée par un double fil, est simultanément utilisée pour la téléphonie avec un poste intermédiaire à Fère-Champenoise. Cette installation, dérivée du système Chevron, a été réalisée par les soins de

M. Vallance, avec des appareils Mandroux et des bobines Picard.

On remarquera, au poste de Fère-Champenoise, un commutateur quadruple à deux directions, modèle Baudot; dans la position figurée en trait plein, les deux brins de l'un des circuits sont respectivement en communication métallique directe avec ceux de l'autre circuit et le rappel par inversion est placé en pont entre eux; dans la position de

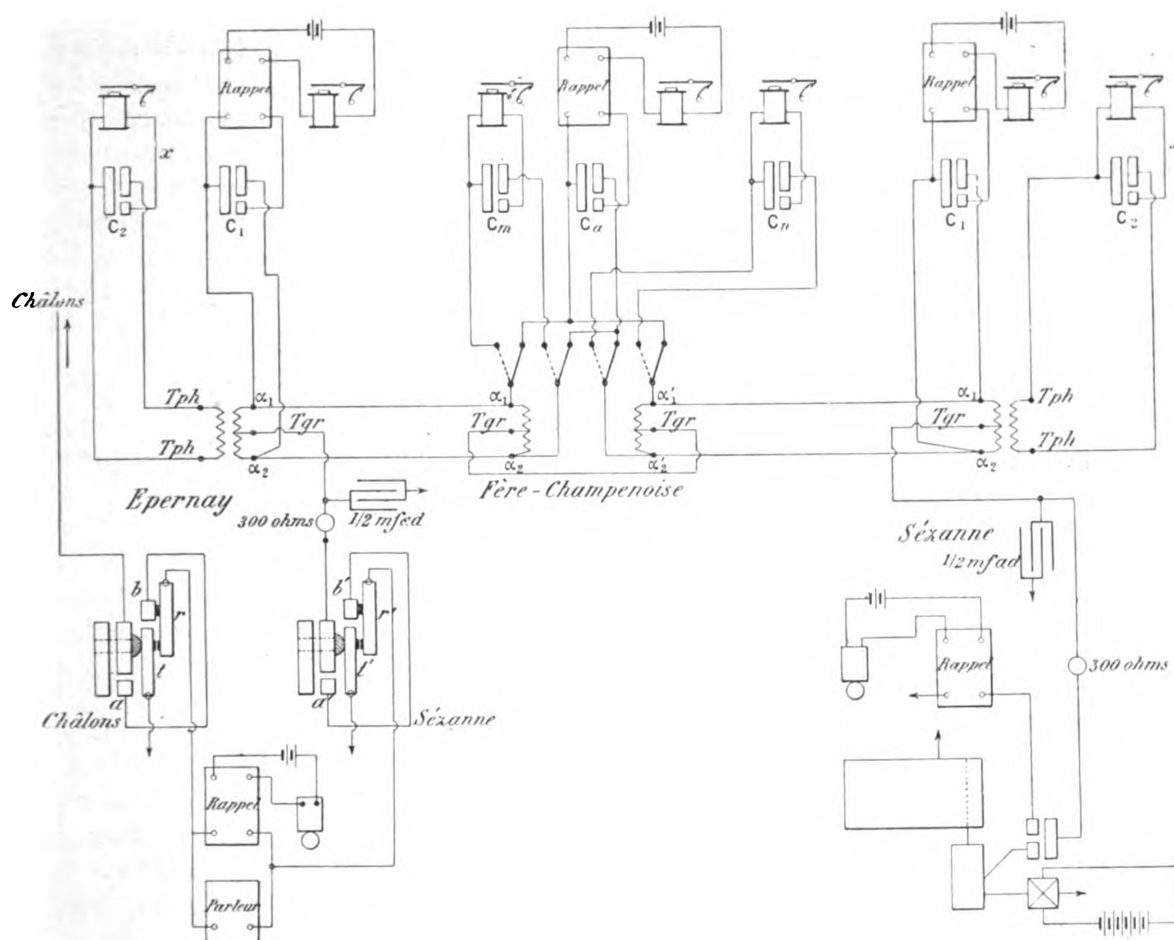


Fig. 6. — Installation pour communications téléphoniques et télégraphiques simultanées entre trois postes.

travail figurée en pointillé, les deux brins du côté Épernay sont amenés au jack C_m, les deux brins du côté Sézanne sont amenés de même au jack C_n, le rappel est isolé de la liaison télégraphique, entre les deux côtés subsiste grâce au fil qui réunit les bornes télégraphiques des deux bobines Picard. Dans cette position, les bobines intercalées forment sur ce côté de ligne une certaine résistance supplémentaire. A ce point de vue, il y a donc intérêt, pour éviter des variations dans l'intensité du courant télégraphique, à employer des bobines à faible résistance.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Essai préliminaire d'une balance d'induction différentielle ;

Par C. Barus (1).

Les noyaux de fer allongés de deux bobines identiques sont placés à angle droit, dans le même plan horizontal, à égale distance du point de rencontre de leurs axes. L'une des extrémités de chacun des noyaux est fixée solidement; l'autre peut se mouvoir librement, par extension ou contraction ; on peut disposer un réfractomètre interférentiel de Michelson (2) de façon que les franges soient visibles quand les déplacements des extrémités libres des noyaux sont nulles ou varient périodiquement avec des phases, des amplitudes et des périodes égales. Les franges perdront plus ou moins leur netteté si ces conditions ne sont pas réalisées. Ces mouvements des extrémités des noyaux résulteront des dilatations produites sur le champ d'un courant passant dans les bobines.

Chaque bobine est constituée par 8 couches de fil de cuivre n° 21, de 410 spires chacune, sur une longueur de 37 cm. Le diamètre intérieur est 1,5 cm ; un manchon à circulation d'eau, destiné à maintenir la température constante, laisse libre un espace cylindrique de 0,8 cm de diamètre environ. Les noyaux de fer ont 28 cm de long et 0,3 cm de rayon ; ils sont continués par des tubes de cuivre très fins qui portent les miroirs destinés à réfléchir les faisceaux interférents.

Si on lance un même courant alternatif dans les deux bobines, les franges ne resteront *immobiles* que si les différences de phase introduites entre les deux courants par les différences de self-induction des bobines et la durée de la propagation de l'une à l'autre sont nulles ou sont des multiples pairs de π. S'il n'en est pas ainsi, les franges se déplaceront ou pourront devenir confuses et disparaître. Pour suivre le phénomène dans ses détails, il faut employer une méthode strotoscopique. Un premier essai, effectué avec 3000 interruptions par seconde, n'a pas donné de résultats; l'auteur pense qu'on réussirait en utilisant, au lieu de la flamme du sodium, la lueur des décharges dans un tube de Geissler à hydrogène, qu'on décomposerait par un prisme.

L'appareil se prête évidemment à la mesure de la dilatation du fer sous l'action d'un champ magnétique ; les expériences ont montré une élongation relative qui atteint $1,2.10^{-6}$ vers une intensité du champ de 20 ou 30, pour décroître ensuite; mais pour les champs plus intenses, les résultats sont rendus très incertains par les effets de flexion et de torsion du fer. Au-dessous de 7 unités, on n'a pas constaté de dilatation.

L'auteur a exécuté quelques expériences avec des courants interrompus par un interrupteur de Foucault; les franges disparaissent pour une faible intensité, quand le courant passe dans une seule bobine ; elles persistent beaucoup plus longtemps quand les deux bobines sont en série.

Le mémoire se termine par un calcul, basé sur la formule de lord Kelvin, qui montre qu'un appareil du genre de celui-ci qu'on étudie, peut mettre en évidence, par le passage d'une frange jaune sur le réticule de la lunette, le temps nécessaire à la propagation du courant le long d'un fil d'un nœud (185526 cm) ayant une capacité de 2,5 microfarads; il faudrait appliquer une force électromotrice de 100 volts, avec 10000 interruptions par seconde. C. R.

(1) *American Journal of Science*, t. III, p. 107; février 1897.

(2) Ce dispositif, qui permet de faire interférer deux noyaux dont les directions de propagation sont rectangulaires, a été décrit et figuré dans *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 565.

Note sur les déplacements de la plaque d'un téléphone;

Par C. Barus [1].

L'auteur a constaté autrefois [2] que le son d'un téléphone reste imperceptible pour des courants inférieurs à 5.10^{-7} ampère, tandis qu'au delà de cette limite une variation de 10^{-7} ampère est appréciable à l'oreille. Il a essayé d'étudier ce phénomène par la méthode optique décrite dans un mémoire précédent (voir ci-dessus).

Les expériences de Cross et Mansfield donnent, entre l'aptitude x de la vibration en microns et l'intensité y du courant en milliampères la relation

$$y^2 = 0{,}305\, x^{3{,}26}$$

D'après cette formule, au courant 5.10^{-4} milliampère, qui ne donne pas de son appréciable, correspondrait une amplitude de 0,0136 micron, trop faible pour être mise en évidence par les mesures optiques. De fait, en disposant deux téléphones de Bell rectangulairement et en fixant aux plaques des miroirs de diamètre inférieur à 1 cm, pesant 0,05 gr, on peut produire un son sensible à 2 m, dans l'un des téléphones, sans constater un déplacement de $\frac{1}{10}$ frange, qui correspondrait à un mouvement de la plaque de 0,03 micron.

En mettant les deux téléphones en série, on constate que les franges disparaissent beaucoup plus facilement, le calcul montrant que, malgré les différences de résistance et de self-induction des deux téléphones, la tangente de la différence de phase des deux courants, qui contient en dénominateur la fréquence des vibrations, reste petite; il est vraisemblable que le fait est dû à une différence entre les formes de la vibration des deux plaques.

La valeur extrêmement faible de l'amplitude s'explique si l'on calcule que, pour produire, au centre d'une lame de fer ayant 2 cm de rayon et 0,016 cm dépaisseur, fixée par sa circonférence, un déplacement de 0,01 micron, il faudrait exercer en ce point une force égal à 10 dynes. C. R.

(1) *American Journal of Science*, t. III, p. 219, mars 1897.

(2) *Phil. Magas.* (V), t. XXXVIII, p. 558, 1894. — *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 80, 12 janvier 1895.

CORRESPONDANCE

Sur les clapets électriques.

Francfort, septembre 1897.

Monsieur le Directeur,

Dans le numéro 30 (17 juillet 1897) de *L'Éclairage Électrique* se trouve une brève analyse et quelques remarques signées F. G. sur mon brevet anglais. Je me vois obligé à ce propos d'ajouter ce qui suit.

Il manque dans cet extrait la figure 4 du brevet et la partie explicative correspondante. Elle fait voir comment, à l'aide de 4 éléments, on peut transformer les deux phases des courants alternatifs en courant pulsatoire d'un même sens, et cela pour un même circuit.

Les parties essentielles du brevet sont le mieux caractérisées par les « revendications » du brevet, et il est dit dans le mien qu'en employant les solutions alcalines et des électrodes différentes il se forme une couche polarisée, laquelle soit par sa résistance, soit par sa force électromotrice contraire, arrête le passage des courants dans un sens.

Quant aux travaux de MM. Hutin et Leblanc, je n'ai pas réussi à trouver des publications à ce sujet, sauf leur brevet français de 1891, n° 215,945, intitulé : « Appareil transformant les courants alternatifs en courants continus. » Il contient une longue description d'un commutateur tournant synchroniquement, et il y est dit aussi :

« *Clapets électriques.* — Un appareil de ce genre serait un appareil constitué de telle manière qu'un

courant électrique d'un sens pourrait le traverser sans avoir à surmonter de résistance appréciable, tandis qu'un courant de sens contraire aurait à surmonter une énorme résistance.

» On peut réaliser un clapet électrique avec un électrolyte formé de plaques d'aluminium et d'un autre métal. En effet, toutes les fois que le courant tend à porter de l'oxygène sur la plaque d'aluminium, celle-ci se recouvre d'une couche d'alumine extrêmement résistante qui intercepte le passage du courant. Lorsque celui-ci est renversé, l'hydrogène dégagé sur la même plaque réduit cette couche, et le courant peut passer librement.

» En possession d'un système de clapet et d'un système de distribution électriques, nous n'avons plus qu'à reproduire complètement les dispositions employées dans les pompes ou machines à colonne d'eau ordinaires.

...» Nous n'avons pas eu l'occasion d'expérimenter les clapets électriques dont nous avons parlé ; mais si ces appareils ou d'autres de même simplicité fournissent de bons résultats pratiques, la transformation des courants alternatifs en courants continus de tension différente se fera aussi facilement que celle des courants alternatifs en courants alternatifs d'autre tension.

» Néanmoins, nous n'avons pas cru devoir escompter les résultats susceptibles d'être fournis par les clapets à lames d'aluminium avec des courants de très grande fréquence. Sans doute, on arrivera à découvrir un appareil jouissant de toutes les propriétés d'un bon clapet ; mais, en attendant, le problème qui nous occupe peut recevoir une solution satisfaisante au moyen de distributeurs d'électricité. »

Il s'ensuit que MM. Hutin et Leblanc n'ont pas trouvé d'appareil de ce genre ; qu'il fallait le trouver. J'ai réussi à obtenir dans cette voie des résultats satisfaisants : en effet, à l'aide de mes redresseurs électrolytiques, j'ai alimenté pendant longtemps une lampe à arc à courants continus ; j'ai mis et entretenu en mouvement un moteur à courants continus et j'ai chargé une batterie d'accumulateurs, et cela en me servant de courants alternatifs d'une tension de 65 volts, que nous fournit la station centrale de Francfort pour les besoins de notre usine d'accumulateurs et de laboratoire.

C. Pollak.

Paris, 24 septembre 1897.

Mon cher Directeur,

Je vous remercie d'avoir bien voulu me communiquer la lettre de M. Pollak.

Je suis d'accord avec lui : nous avons simplement signalé, il y a longtemps déjà, Hutin et moi, la grande importance que présentait la question des clapets électriques, en rappelant les résultats obtenus avec des électrolytes à lame d'aluminium par MM. Gaugain et Ducretet.

La communication faite à l'Institut par M. Pollak m'a vivement intéressé, car je considère que l'invention d'un clapet électrique d'un bon rendement et durable ou, à son défaut, d'un condensateur électrolytique peu résistant et pouvant supporter une différence de potentiels de 40 volts, transformerait complètement l'état de l'industrie électrique.

Je crains qu'il soit difficile de faire un clapet électrique d'un bon rendement, en basant son fonctionnement sur la formation et la destruction successives d'une couche d'alumine à la surface d'une électrode. Avec les fréquences ordinairement employées (50 en moyenne), la production du phénomène doit exiger l'emploi de courants de très grande intensité par unité de surface d'électrode et, même en les rapprochant autant que possible, on doit perdre beaucoup d'énergie en chaleur dans le liquide. Mais je serais très heureux de me tromper.

Cette objection tombe si, au lieu de vouloir faire un clapet électrique, on se contente de réaliser un condensateur électrolytique, la couche d'alumine étant formée une fois pour toutes.

Vous savez comme moi, mon cher Directeur, les remarquables résultats que l'on pourrait obtenir avec des condensateurs. Je crois avoir été l'un des premiers avec Hutin à les signaler et à vouloir en tirer parti, mais nous n'avons pas tardé à reconnaitre que l'on ne pourrait songer à utiliser industriellement les condensateurs électrostatiques. En effet, leur capacité étant indépendante de leur charge, les phénomènes de résonance amènent constamment des élévations de voltage extrêmement dangereuses et que l'on ne saurait prévoir : si on munit ces appareils de paratonnerres susceptibles de remplir le rôle de soupapes de sûreté, le fonctionnement intermittent de ces derniers amène des troubles intolérables dans le fonctionnement général de l'installation.

Le condensateur électrolytique ordinaire, composé par exemple de deux lames de plomb baignées dans de l'eau acidulée, présente cet avantage que sa capacité devient infinie dès que le voltage à ses bornes dépasse 2 volts. Son emploi présente une sécurité absolue, mais il est facile de voir qu'il ne peut rendre des services que dans le cas où l'on a affaire à des courants de très basse fréquence.

Désignons par R la résistance réelle de l'appareil, par c sa capacité, par α la fréquence du courant qui le traverse et par H le voltage efficace maintenu entre ses bornes.

Désignons enfin par a l'intensité efficace maxima du courant que l'on peut faire passer indéfiniment dans le condensateur sans que sa température s'élève, par exemple, de plus de 30 degrés au-dessus de la température ambiante.

On a

$$H = \frac{\sqrt{1 + 4\pi^2 \alpha^2 c^2 R^2}}{2\pi \alpha c} a$$

Le travail apparent utile T fourni par le condensateur, soit le produit de l'intensité qui le traverse par la composante déwattée de la force électromotrice développée entre ses bornes, est égal à :

$$T = \frac{\sqrt{1 + 4\pi^2 \alpha^2 c^2 R^2}}{4\pi^2 \alpha^2 c^2} a^2$$

On voit immédiatement que ce travail tend vers o lorsque la fréquence α augmente, tandis que la quantité d'énergie $R a^2$ perdue en chaleur dans l'appareil demeure constante.

C'est ce que l'expérience vérifie. Nous avons obtenu de très bons résultats en fermant sur des condensateurs électrolytiques des circuits induits de machines à champ tournant, dans le but de diminuer leur self-induction. Les condensateurs qui se trouvaient alors traversés par des courants de fréquence comprise entre 1 et 2, avaient un bon rendement et produisaient un grand effet utile par rapport à leur poids.

Au contraire, cet appareil employé pour diphaser des courants de fréquence 40 se comporte très mal, ne produit un effet utile appréciable que si on le fait traverser par des courants d'énorme densité et a un très mauvais rendement. C'est pour cela que tous les constructeurs qui ont voulu s'en servir n'ont pu l'utiliser que momentanément, pour obtenir un démarrage par exemple.

Il n'en serait plus de même si l'on pouvait diviser par un facteur K la capacité C du condensateur, en multipliant par le même facteur le voltage maximum qu'il peut supporter. La fréquence à laquelle on pourrait utiliser pratiquement l'appareil, se trouverait aussi sensiblement multipliée par K.

Si c'est ce résultat qu'a obtenu M. Pollak et s'il a pu donner à ce facteur K une valeur égale à 20 en laissant au diélectrique de son condensateur la faculté de se reconstituer lui-même et instantanément, s'il vient à être rompu accidentellement, suivant toute probabilité, il a trouvé le condensateur industriel. Ce résultat serait gros de conséquences.

C'est pourquoi je profite de l'occasion qui m'est offerte par la communication de la lettre de M. Pollak pour le prier de bien vouloir nous renseigner sur les points suivants :

1° Comment sont exactement constitués ses clapets électriques? Quel métal emploie-t-il pour faire l'électrode qui n'est pas en aluminium, et quelle est la composition exacte de sa solution? L'aluminium a la réputation de se dissoudre rapidement dans les alcalis. Comment a-t-il évité cet inconvénient?

Quel est le rendement de ses clapets et quelle est la densité du courant à la surface de la plaque en aluminium? Quelle est la fréquence des courants redressés?

2° En ce qui concerne le condensateur électrolytique, quelle est la nature exacte de la solution?

Quelle densité de courant peut-on faire passer par dm^2 d'électrode pendant dix heures consécutives sans que la température du liquide s'élève de plus de 30° au-dessus de la température ambiante?

A la fréquence 40 quel voltage efficace mesure-t-on aux bornes de son condensateur, lorsqu'on y fait passer un courant ayant la densité définie ci-dessus? Quelle est en même temps la quantité d'énergie consommée en chaleur dans l'appareil (mesure au wattmètre)? Enfin, quelle peut être la durée de ce condensateur?

Je ne pense pas être indiscret en posant ces questions à M. Pollak puisqu'il est couvert par des brevets, et, d'autre part, je crois que sa réponse intéressera vivement les lecteurs de ce journal.

Veuillez agréer, mon cher directeur, l'assurance de mes sentiments les plus distingués.

M. Leblanc.

CHRONIQUE

Les fiacres électriques à Londres. — Plus heureux que les Parisiens les Londoniens possèdent aujourd'hui une station de fiacres électriques.

Notre confrère *Industries and Iron*, de Londres, nous apprend que cette station a été solennellement inaugurée le 19 août dernier par une réunion composée des principaux membres de la Compagnie des fiacres électriques de Londres, à laquelle elle appartient, et d'un grand nombre de députés et de conseillers municipaux de la ville.

Le matériel ne se compose encore que d'une quinzaine de voitures électriques dont la mise en circulation n'a été effectuée que quelques jours après l'inauguration, le 23 août; mais les dimensions intérieures des bâtiments sont telles que le matériel de charge correspondant à un service de plusieurs centaines de voitures pourra y trouver place. La Compagnie se propose, d'ailleurs, de construire plusieurs autres stations sur différents points de la ville.

Le type de voitures qu'elle a adopté est celui des constructeurs anglais bien connus MM. Mulliner, Brougham et Bersey qui sont en même temps les directeurs du service d'exploitation. Ces voitures élégantes d'aspect, d'après ce qu'on peut en juger par la photographie que nous avons sous les yeux, ont une forme qui ne diffère guère de celle des fiacres parisiens; au-dessus de l'arrière-train se trouve une caisse renfermant le moteur et son train d'engrenages; au-dessous du plancher de la voiture est fixée la caisse aux accumulateurs.

Cette caisse renferme 40 éléments E. P. S. du type spécial pour traction à électrodes Faure-King ayant pour un poids total de 600 kg et une capacité de 170 ampères-heures pour une intensité de décharge de 30 ampères.

Elle est munie d'oreillons servant à la suspendre sous le plancher à des crochets spéciaux dont la tige est enfilée dans un ressort à boudin logé dans un cylindre. L'élasticité de ce mode de suspension jointe à celle des ressorts de la voiture assure aux accumulateurs une protection suffisante contre les cahots.

L'*équipement mécanique* de chaque voiture se compose d'un moteur Jonhson-Lundell à double enroulement d'une puissance de trois chevaux, commandant par un train d'engrenages réducteur deux chaînes Gall actionnant deux roues dentées fixées aux rayons de chacune des roues d'arrière du véhicule.

La mise en marche s'effectue à l'aide d'un petit contrôleur du type série parallèle pouvant occuper plusieurs positions correspondant aux différents ordres de marche suivants :

Marche avant. — Première position : démarrage du moteur; les deux enroulements de l'induit et les deux enroulements du champ sont en série avec une résistance de démarrage;

Deuxième position : mêmes connexions des enroulements, la résistance étant hors circuit. La voiture atteint une vitesse d'environ de 4,8 km à l'heure;

Troisième position : les enroulements de l'induit sont mis en parallèle; ceux du champ restent en série. La vitesse est d'environ de 11,5 km à l'heure;

Quatrième position : les enroulements du champ sont à leur tour mis en parallèle. La voiture acquiert son régime de vitesse maxima de 14,42 km à l'heure.

Arrêt. — La voiture en marche normale peut être arrêtée graduellement ou subitement à la volonté du conducteur. Le commutateur peut occuper à cet effet les trois positions établissant les combinaisons suivantes :

Première position : le moteur est mis en court-circuit avec la résistance. L'allure de la voiture se modère d'elle-même graduellement;

Deuxième position : le moteur est mis en court-circuit sans la résistance, ce qui provoque l'arrêt immédiat du véhicule;

Troisième position : les connexions de l'armature et du champ sont interverties par la marche contraire, tous restant en série. La voiture marche lentement en arrière.

Notons aussi, comme disposition particulière des organes de commande, l'adaptation d'un commutateur d'arrêt au levier du frein que le conducteur actionne avec son pied. Ce dispositif très ingénieux le dispense de s'occuper du contrôleur dans les passages difficiles et de ne veiller qu'à la direction. En appuyant plus ou moins du pied sur le frein le commutateur d'arrêt prend trois positions différentes qui réalisent les mêmes combinaisons

d'arrêt que nous avons mentionnées plushaut pour le contrôleur.

La *station de charge* qui, pour le moment, sert aussi pour la remise des voitures, ne comprend qu'un seul corps de bâtiment disposé comme un vaste hall à deux étages, séparé au rez-de-chaussée en de nombreuses travées dans lesquelles pénètrent les voitures pour se remiser. A l'une des extrémités de ce hall se trouve la chambre des machines ou plutôt des transformateurs, car la Compagnie préfère acheter son courant que de le produire. Ce dernier, du courant alternatif à 2 500 volts, est fourni par la station centrale de Juxon street (Lambeth). Pour la charge des batteries, on le transforme en courant continu à 100 volts à l'aide de deux groupes de moteurs-transformateurs. Chacun de ces groupes se compose d'un moteur synchrone de 110 chevaux couplé à une dynamo à courant continu de puissance correspondante. Le moteur est à 14 pôles et tourne à raison de 712 tours par minute; la dynamo n'a que 4 pôles et elle engendre 750 ampères à 100 volts.

La mise en marche de ces groupes s'opère de la façon ordinaire, c'est-à-dire en se servant d'abord des dynamos comme moteurs, le courant d'alimentation étant alors fourni par les batteries de réserve jusqu'à amener les moteurs alternatifs au synchronisme avec le courant à 2 500 volts. Dès que cette condition est réalisée, on ferme leurs commutateurs et on ouvre ceux des dynamos qui deviennent génératrices.

Des bornes des dynamos, le courant est amené par des câbles de forte section au tableau général de distribution qui, ainsi que tous les accessoires de charge des batteries, se trouve à l'étage supérieur. Ce tableau est formé de trois parties; le panneau central et affecté à la réception du courant à haute tension destiné aux moteurs; les panneaux latéraux servent à la réception et à la distribution du courant continu. Ceux-ci comprennent chacun 18 circuits et sont pourvus d'un nombre égal de voltmètres et de commutateurs pour la charge simultanée de 36 batteries. Cette opération s'effectue au premier étage; les batteries y sont amenées par un ascenseur mû par piston hydraulique. Une voiture venant « recharger » est dirigée au-dessus du plateau, abaissé au ras du sol, de l'ascenseur. Ce dernier est mis en jeu très modérément en sorte que son plateau soulève un peu la caisse d'accumulateurs pour faciliter la sortie des crochets de suspension de cette dernière. On l'abaisse ensuite pour faire sortir la voiture et on l'élève de nouveau jusqu'à la hauteur du premier étage où la batterie épuisée est immédiatement remplacé par une batterie chargée que l'on accroche à la voiture en répétant l'opération inverse de celle que nous venons de dire. La voiture quitte d'elle-même le plateau et peut regagner la rue après un arrêt qui n'exige guère plus de 10 minutes.

La batterie épuisée est placée sur un wagonnet, conduite dans la salle de charge et branchée sur l'un des circuits disponibles.

Les tramways électriques de Lausanne. — Le compte rendu de la dernière assemblée générale de la Compagnie des tramways lausannois nous fournit les renseignements qui suivent, sur ces tramways, inaugurés le 1er septembre 1896 et dont une description a été donnée dans le numéro de ce journal du 12 décembre dernier (t. IX, p. 491).

La longueur totale des voies était, au 31 décembre 1896, de 13 414 m, comprenant 7800 m en alignement, 2480 en courbes d'un rayon supérieur à 100 m, 720 en courbes d'un rayon compris entre 50 et 100 m, 565 en courbes de rayons de 30 à 50 m, 439 m de courbes de rayons de 20 à 30 m, 11 m d'une courbe d'un rayon moindre de 20 m, et enfin 399 de branchements d'un rayon de 35 m. Les parties en double voie et les évitements formaient une longueur de 2451 m, de sorte que la longueur exploitée était de 10963 m.

Comme il a déjà été dit, la voie est extrêmement accidentée; le tableau suivant donne la répartition des déclivités :

	Longueurs exploitées.	Double voie et évitements.
Palier	238,0 m	233,0 m
Déclivité de 0 à 3 p. 100.	4792,7 »	846,8 »
» 3 à 5 » .	3085,6 »	704,7 »
» 5 à 7 » .	2097,2 »	620,7 »
» 7 à 9 » .	488,5 »	45,7 »
» 9 à 11 » .	»	»
» au-dessus de 11 p. 100 . .	261,0 »	»
	10963,0 m	2450,9 m

Le personnel comprend 103 personnes, réparties dans les différents services comme il suit :

Direction	6
Mouvement, stations	12
Contrôleurs	26
Conducteurs	26
Atelier, dépôt	12
Usine	7
Service de la voie	14
	103

Au 31 décembre 1896, les recettes totales s'élevaient à 90094 fr, dont 16999,95 pour publicité : ce chiffre correspond à 70,8 centimes par voiture-kilomètre. Les dépenses ont été de 69124,48 fr, soit 53,5 centimes par voiture-kilomètre. Sur ces dépenses la consommation de combustible (maigres d'Anzin et anthracite pour l'alimentation des gazogènes à gaz pauvre Ficher et Heurtey) n'entre que pour 7547,05 fr : ce chiffre correspond à une consommation de 1,150 kgr par kilomètre-voiture, y compris la consommation des différents services de l'usine.

Les dépenses de premier établissement ont été :

Frais d'organisation et d'administration	111043,82	fr
Intérêt du capital d'établissement	1482,84	»
Expropriation de terrains	34784,00	»
Terrassements et ouvrages d'art	70488,65	»
Voie ferrée	264564,06	»
Canalisation électrique	112255,70	»
Bâtiments, stations	171556,35	»
Machinerie	322826,00	»
Téléphone, signaux, clôtures	278,55	»
Matériel roulant	256856,40	»
Mobilier et ustensiles	17900,55	»
Total	1364036,92	fr

Les dépenses d'exploitation se répartissent comme suit :

Administration :

Personnel et dépenses de bureau	6178,45	fr

Voie :

Personnel	9094,35	»
Travaux d'entretien	5412,45	»

Mouvement :

Personnel	14927,05	»
Dépenses diverses	124,95	»

Traction et matériel :

Personnel	15860,50	»
Combustible	7547,05	»
Eau	748,00	»
Graissage	683,45	»
Huiles pour nettoyer	110,85	»
Eclairage	94,13	»
Liquide pour accumulateurs	616,70	»
Divers	1,90	»
Matériel roulant	603,98	»
Entretien des gazogènes	178,00	»
» des moteurs à gaz	62,30	»
» des dynamos	32,30	»
» des voitures	4956,30	»
Dépenses diverses	518,07	»
Frais judiciaires, impôts, etc	1376,70	»
Total	69124,48	fr

La Compagnie se propose d'augmenter le matériel roulant et le matériel générateur; dans ce but un emprunt de 200000 fr a été prévu. De plus, elle va faire à la ville de Lausanne des propositions en vue d'amener dans cette ville l'énergie fournie par le Rhône.

La traction mécanique sur route. — Certains de nos lecteurs connaissent déjà les trains Scotte qui, depuis quelques mois, assurent le transport des voyageurs et des marchandises entre Colombes et Courbevoie, dans les environs de Paris. Chaque train se compose d'une automobile à vapeur contenant 14 places de voyageurs de seconde classe et remorquant une voiture contenant 24 places de voyageurs de première classe. Pour le moment, le service comporte deux trains par heure dans chaque sens.

Cet essai mérite d'être suivi, car si ce système ne vaut pas, pour la rapidité et le confort, la traction sur voie ferrée, il offre sur celle-ci l'avantage de n'exiger qu'un faible capital d'installation et, par suite, de se prêter à un service intermittent (pendant l'été ou pendant l'hiver, suivant les localités à desservir) et de préparer ainsi un courant de circulation dont peut profiter plus tard la traction mécanique sur voies ferrées. Il est également plus économique que les omnibus à chevaux, comme l'indiquent les chiffres suivants empruntés à notre nouveau confrère la *Revue des transports parisiens*.

1° Omnibus a chevaux

Frais d'installation :

4 voitures de 20 places à 4000 fr l'une.	16000	fr.
1 voiture de réserve	4000	»
24 chevaux à 800 fr l'un	19200	»
Écuries et remises	15000	»
Capital engagé	54200	»

Frais d'exploitation :

Amortissement à 10 p. 100	5420	»
Intérêt à 5 p. 100	2710	»

Dépenses journalières :

24 chevaux à 3 fr.	72 fr
5 palefreniers à 3 fr.	15 »
4 cochers à 4 fr.	16 »
4 contrôl. à 3 fr 50	14 »
Entretien	20 »

Dépenses annuelles 137 » × 365 =	50005	»
Total	58135	»

2° Train Scotte

Frais d'installation :

2 trains de 38 places à 24000 fr	48000	»
1 train de réserve	24000	»
Bâtiments pour remise des voitures	5000	»
Capital engagé	77000	»

Frais d'exploitation :

Amortissement à 10 p. 100	7700	»
Intérêt à 4 p. 100	3850	»

Dépenses journalières :

600 kg de charbon à 30 fr la tonne	18 fr
Huile de graissage	4 »
2 mécaniciens à 6 fr.	12 »
2 chauffeurs à 5 fr.	10 »
1 aide à 5 fr.	5 »
Entretien du matériel	16 »

Dépenses annuelles 65 » × 365 =	23700	»
Total	35275	fr

Il convient toutefois de remarquer que dans les chiffres relatifs aux trains Scotte, l'intérêt n'est compté qu'à 4 p. 100, et qu'il n'y est pas prévu de contrôleurs; de plus, les frais d'entretien n'ont pu être évalués qu'approximativement, l'exploitation de ce système de traction étant de date trop récente pour qu'on ait à ce sujet des données précises. Néanmoins, la différence des frais annuels des deux modes de traction (58 135—35 275=22 860 fr.) est suffisamment importante pour qu'il ne puisse y avoir doute sur l'économie du système Scotte.

Concours du chemin de fer de la Jungfrau. — Sur 48 projets présentés à ce concours, 19 ont été retenus par la commission et les 16 prix suivants ont été décernés :

1. — E. Strub, Interlaken. Nouveau système de crémaillère pour chemin de fer de montagne	5 000 fr
2. — C. Wuest-Kuntz, Seebach et L. Thormann, Zurich, ingénieurs des ateliers d'Oerlikon. Propositions pour la construction du tunnel, l'installation électrique, l'ascenseur et le matériel roulant.	4 000 »
3. — Brown, Boveri et Cie, Baden, en collaboration avec Escher, Wyss et Cie, Zurich, et Th. Bell et Cie, Kriens (Lucerne). Station génératrice et installation électrique	4 000 »
4. — J.-J. Rieter et Cie, Winterthur. Station hydraulique	2 500 »
5. — Compagnie de l'industrie électrique, Genève. Installation électrique et matériel roulant	2 200 »
6. — Fabrique de locomotives, Winterthur, en collaboration avec Roman Abt, Lucerne, et la Neuhausen-Industrie, Gesellschaft. Matériel roulant et voie	2 000 »
7. — Professeur Franz Kreuter, Munich. Construction de tunnel	1 500 »
8. — Rudolf Meier, Muhlheim-s-Ruhr. Construction de tunnel	1 500 »
9. — E. Kiebitz, Magdebourg. Ascenseur et matériel roulant	1 300 »
10. — A. Koller, Apples (Waadt). Construction de tunnel	1 000 »
11. — A. Boissonas, Genève. Installation électrique et matériel roulant	1 000 »
12. — Max Halder, Pittsburg (États-Unis). Installation électrique	800 »
13. — Krebs, Trèves. Ascenseur	600 »
14. — J. Bernays, Londres. Ascenseur	600 »
15. — G. Dieterich, Hanau. »	500 »
16. — Paulsen, Dessau. Construction de tunnel	200 »

Ont été achetés en outre les projets suivants :

K.-A. Sohm, Mannheim. Superstructure	400 fr
P. Tappolet, Zurich. »	300 »
E. Cucchianini, Lintthal. Construction de tunnel	300 »

Le jury était constitué par MM. Hennings (construction de tunnel), le professeur Weber (installation électrique) et Strub (voie et matériel roulant).

Consommation des appareils de chauffage électrique. — A la suite d'un incendie causé par un fourneau à alcool, dans un collège, en Amérique, on résolut d'adopter, au moins partiellement, le chauffage électrique dans cet établissement. Les appareils suivants fournis par l'American Electrical Heating Corporation, furent essayés par M. John Price Jackson :

1 Étuve de 30 × 23 × 45 cm, avec 3 radiateurs de 3,10 et 17 ampères respectivement ;

3 fourneaux de 2,4 et 5 ampères respectivement ;

1 gril de 12 ampères ;

2 fers à repasser de 1,5 et 6 ampères ;

Le tout à la tension de 110 volts.

Le rendement des deux grands fourneaux fut mesuré en faisant bouillir un poids connu d'eau (2 lbs, soit 0,908 kg) et en notant soigneusement la durée de l'expérience et les températures ; il fut de 48,9 p. 100 pour le fourneau de 5 ampères et de 43,1 p. 100 pour le fourneau de 4 ampères.

On peut faire bouillir l'eau dans de meilleures conditions avec des appareils spéciaux ; on peut obtenir alors des rendements de 90 p. 100.

On n'a pas mesuré le rendement de l'étuve ; cet appareil est à peine chaud à l'extérieur après un service prolongé ; son rendement doit donc être élevé.

En pratique, lorsqu'on voulait cuire un plat, on commençait par laisser le courant pendant 5 minutes avant d'introduire les plats dans l'étuve ou sur le gril ; on interrompait le courant 10 ou 20 minutes avant que la cuisson fut « à point », afin d'utiliser au mieux la chaleur engendrée.

Ces appareils ont été employés pour cuire presque tous les plats d'une famille de 6 personnes pendant plusieurs semaines.

La moyenne des résultats a été la suivante :

DÉJEUNER DU MATIN

Heure.	Ustensiles.	Aliments.	Watts.
6,55 h. . . .	fourneau 5 ampères en service	rolled oats	
6,55 »	» 4 » »	café	844
7,45 »	» 4 » éteint		
7,45 »	gril, en service	beefsteak	1505
7,55 »	fourneau de 5 ampères éteint		1150
8,05 »	gril, éteint		
		kilowatts-heure	1,335
		dépense	0,6775 fr

DÉJEUNER DE MIDI

Heure.	Ustensiles.	Aliments.	Watts.
10,25 h. . . .	étuve en service	rosbif	
10,35 »		pommes de t.	1610
11,14 »		pâtés	
11,46 »	fourneau 5 ampères en service	asperges	1990
12,05 »	étuve éteinte		
12,05 »	fourneau 4 ampères en service	café	1180
12,11 »	gril en service	pain rôti pour les asperges	2200
12,29 »	fourneau 5 ampères éteint		1835
12,32 »	gril éteint		
12,32 »	fourneau 4 ampères éteint		
		kilowatts-heures	2,98
		dépense	1,49 fr

DINER

Heure.	Ustensiles.	Aliments.	Watts.
4,59 h. . . .	fourneau 5 ampères en service	cacao	630
5,15 »	» 4 » »	gâteaux de pommes de terre	1010
5,10 »	gril en service	omelette	2100
5,22 »	fourneau 4 ampères éteint		1700
5,26 »	gril éteint		
5,26 »	fourneau 4 ampères en service		1130
5,43 »	» » éteint		
5,44 »	» 5 » »		6.90
		kilowatts-heures	8.39
		dépense	4 195 fr

L'ensemble des mesures montre que la dépense en énergie électrique seulement, pour un seul repas, est en moyenne de 0,655 fr; en plus, il faut compter 0,0175 fr pour laver la vaisselle, soit en tout 0,6725 fr par repas.

Avec un fourneau à charbon ordinaire, brûlant de la houille, les repas pour la même famille donnèrent lieu à une dépense de 12,6 lbs (5,72 kg) de charbon à 25 fr la tonne, soit une dépense de 0,1575 fr par repas.

La dépense, par le charbon, n'est donc que les 19 centièmes de celle qu'entraîne l'électricité, encore, le kilowatt-heure n'a-t-il été compté qu'à 0,50 fr.

Pour le repassage, la dépense avec l'électricité fut de 1,135 fr et la durée quatre heures; avec le chauffage au charbon, dépense 0,6125 fr, durée cinq heures. La dépense dans le dernier cas n'est donc que les 54 centièmes des dépenses du chauffage électrique, mais la différence de main-d'œuvre (une heure d'ouvrière) fait plus que compenser cet écart. En outre le travail fait à l'électricité est plus parfait.

De même, la cuisine à l'électricité est aussi plus parfaite ; il est impossible de donner de « coups de feu » ; l'opération devient mathématique ; pour tant de livres de viande, ou de légumes, etc., tant d'ampères pendant tant de minutes, dans tel appareil. Un commutateur automatique commandé par une horloge serait un « parfait cuisinier ».

L'éclairage électrique est-il plus économique que l'éclairage au gaz (jurisprudence)? — Dans son numéro du 7 août, notre confrère *L'Électricien* publie un intéressant article de Me Sirey, avocat à la cour d'appel, d'après lequel le Conseil d'Etat a tranché — un peu hâtivement sans doute — cette question si complexe et si sujette à discussion. Voici en résumé les faits qui ont amené et motivé cette décision du Conseil d'Etat :

Une clause du traité intervenu en 1885 entre la ville de Flers et la Société gazière la Normande porte « qu'en cas de découverte d'un mode d'éclairage autre que le gaz, deux ans au moins après que la mise en pratique du nouveau mode d'éclairage à Paris ou dans une des principales villes de France aura prouvé que son emploi peut être *économiquement* et *généralement* adopté, tant pour l'éclairage public que pour l'éclairage particulier, et reconnn comme tel dans ladite ville, l'Administration pourra mettre le concessionnaire en demeure d'appliquer cet éclairage à la ville de Flers, etc. »

S'appuyant sur cette clause, et sur la demande du conseil municipal, le maire de Flers écrivait le 23 juin 1891, au directeur de la Société gazière de bien vouloir établir l'éclairage électrique à Flers dans le délai de deux ans. Le conseil de préfecture de l'Orne saisi de la question rendit, le 22 décembre 1893, après une expertise défavorable à l'électricité, un arrêté déclarant que la mise en demeure du 23 juin 1891 était prématurée et inefficace. Le Conseil d'Etat, saisi à son tour de la question approuva, le 27 mars 1897, cet arrêté du conseil de préfecture « considérant qu'il résulte de l'instruction, et notamment de l'expertise, qu'à la date de la mise en demeure (22 juin 1891), les conditions de l'article précité du traité n'étaient pas remplies; que si, en effet, l'éclairage électrique a fonctionné dans quelques-unes des principales villes de France pendant les deux années qui ont précédé la mise en demeure, cette mise en pratique n'avait pas démontré que l'emploi de la lumière électrique pût être économiquement et généralement adopté tant pour l'éclairage public que pour l'éclairage particulier dans une ville qui *ne dispose pas d'une force motrice naturelle* ».

La dernière partie de ce considérant a déjà soulevé les critiques de nombreux électriciens compétents. Dans une de ses chroniques le *Bulletin du syndicat professionnel des usines d'électricité* la traitait de contre-vérité, faisant remarquer que si, en général, l'emploi des forces motrices naturelles est avantageux, il est des cas où les prix d'achat d'une chute d'eau et les frais d'aménagement rendent l'économie dérisoire, surtout s'il s'agit d'assurer un service régulier comme l'éclairage d'une ville, car il faut alors tenir compte des crues et des sécheresses et doubler le matériel générateur hydraulique d'un matériel générateur thermique. Il n'est donc pas permis d'ériger en principe que l'énergie électrique coûte moins cher quand elle est empruntée à une chute d'eau que quand elle est produite par une machine thermique et, en fait, il existe des exemples où, le choix des deux solutions étant possible, l'emploi de moteurs a été préféré par économie.

D'autre part, il est loin d'être prouvé — et on pourrait, croyons-nous, démontrer le contraire — que l'éclairage au gaz soit plus économique que l'éclairage électrique, quel que soit le mode de production de l'électricité. Si l'on envisage seule-

ment les prix de vente actuels du mètre cube de gaz et du kilowatt-heure d'énergie électrique, l'avantage se présenterait sans doute en faveur du gaz. Mais si l'on envisage les prix de revient, la dépense par bougie-heure devient moindre avec l'électricité qu'avec le gaz. Il y a donc lieu d'espérer que le jour où les usines d'électricité auront amorti leurs frais d'établissement, comme l'ont fait les usines à gaz, les conclusions des experts dans l'affaire de Flers se trouveront renversées. En attendant, la décision du conseil d'État paraît dès maintenant contestable, et elle est des plus fâcheuses en ce que les compagnies gazières ne manqueront pas de vouloir l'ériger en principe pour l'avenir.

Usines électrolytiques pour la préparation des chlorates alcalins. — Dans un article publié dans *L'Industrie Électrochimique* de juin et juillet derniers, M. H. Becker, directeur de cette revue, nous fournit quelques résultats intéressants sur l'état actuel de l'industrie des chlorates.

Les premiers essais industriels de fabrication des chlorates ont été faits à Villers-sur-Hermes (Oise) par MM. Gall et Montlaur qui déjà exposaient à l'Exposition universelle de 1889 du chlorate de potassium obtenu par voie électrolytique (*La Lumière électrique*, t. XXXVI, p. 423, 31 mai 1890). Leur procédé consiste à électrolyser une solution concentrée et chaude de chlorure de potassium entre une cathode en fer et une anode en platine iridié à 10 p. 100 d'iridium; aux débuts, les électrodes étaient verticales et séparées par une cloison poreuse; aujourd'hui, la cloison est remplacée par un tissu d'amiante recouvrant la cathode et les électrodes sont disposées horizontalement; la densité de courant est de 50 ampères par dm^2, la différence de potentiel entre deux électrodes de 5 volts. Ce procédé est employé à l'usine de Vallorbes (Suisse), d'une puissance de 3 000 chevaux, établie en 1891, et qui produit environ 800 tonnes de chlorate par an (voir *La Lumière Électrique*, t. XL, p. 101, 16 avril 1891, et t. XLIII, p. 13, 2 janvier 1892); à l'usine de Saint-Michel-de-Maurienne, établie en 1893 et disposant d'une puissance de 6 000 chevaux (voir *La Lumière Électrique*, t. LI, p. 599, 1893); à l'usine de Mansboe (Suède), établie en 1894 par la Superphosphat Aktien Gesellschaft et qui fournit annuellement plus de 1 300 tonnes de chlorate (voir *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 384, 21 août 1897).

L'usine de Chedde (Haute-Savoie), disposant d'une puissance hydraulique de 12000 chevaux, est en partie utilisée à la production de chlorate de potassium par le procédé Corbin, essayé à l'usine de Lancey (Isère). D'apres M. Becker, ce procédé ressemble un peu à celui de MM. Galb et Montlaur.

L'usine de la Chemical Construcrion C°, à Niagara Falls, a mis à l'essai l'an dernier le procédé H. Blumenberg qui ne diffère guère des précédents. Les cuves électrolytiques sont en tôle émaillée; les électrodes sont en charbon (voir *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 92, 12 octobre 1897).

Depuis l'an dernier la firme Bowmann, Thompson and C° exploite en Angleterre le procédé Hargreaves. A Francfort, l'Elektron Aktiengesellschaft, et à Bitterfeld, l'Allgemeine Elektricitæt Aktiengesellschaft fabriquent aussi du chlorate de potassium par électrolyse. Les renseignements font défaut sur les procédés de fabrication employés dans ces usines; toutefois il paraîtrait que dans la dernière l'électrolyte est rendu alcalin, non pas au moyen de potasse caustique comme on le fait généralement, mais par une addition de 1,5 à 3 p. 100 de carbonate de potassium; qu'on emploie des électrodes de charbon au commencement de l'électrolyse que l'on continue, dans une autre cuve, avec des électrodes en platine; que les cuves n'ont pas de diaphragmes; que les bains sont additionnés de certaines organiques et sont portés à une température variant de 40 à 100° C.

A propos de l'usine de Chedde dont il est question plus haut, voici quelques renseignements complémentaires qui nous ont été transmis :

La puissance motrice est empruntée aux eaux de l'Arve, captées au-dessous du pont de Servoz et amenées au vallon du Chatelard par un premier tunnel de 600 m de long; là, une partie de la chute sera utilisée pour actionner le chemin de fer électrique à crémaillère que la compagnie P.-L.-M. va établir entre Fayet et Chamonix. Les eaux traversent ensuite le vallon dans deux énormes tubes d'acier de 1,40 m de diamètre et s'engagent dans un second tunnel de 700 m de long qui les amène en face de l'usine et à 140 m au-dessus de celle-ci; deux conduites en acier, presque verticales, les conduisent aux 12 turbines horizontales auxquelles sont accouplées 12 dynamos de 850 chevaux électriques.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XIII. Samedi 9 Octobre 1897 4e Année. — N° 41.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

ENDOSMOSE ÉLECTRIQUE

Historique. — Énoncé du problème

Le 15 août 1808 Reuss communiquait à la Société Impériale des naturalistes de Moscou les deux expériences suivantes :

1re *Expérience*. — Un tube en V (fig. 1) est divisé en deux parties par un amas de cristal de roche pulvérisé, placé au sommet de l'angle des deux branches. Le tube est rempli d'eau jusqu'à la moitié environ de la longueur. Deux électrodes de platine *a b*, fixées de part et d'autre de l'amas de cristal pulvérisé, font passer à travers le liquide le courant d'une pile formée de « 92 roubles d'argent et autant de plaques de zinc..... 15 à 20 minutes après le commencement de l'action, l'eau s'est élevée déjà de 10 lignes au-dessus de son premier niveau dans le bras négatif..... En même temps, l'eau qui se trouvait dans l'autre bras du tube, autour du pôle positif, est descendue à proportion..... Au bout de deux heures, l'eau a rempli toute la capacité du petit tube qui bouchait le bras négatif. »

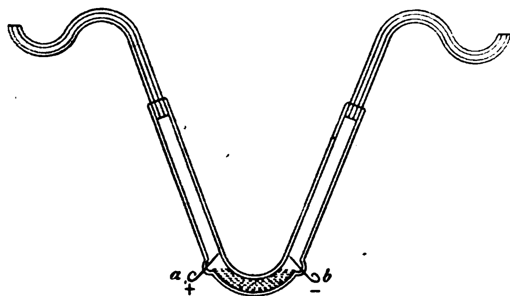


Fig. 1. — Expérience de Reuss.

Le lendemain, 14 heures après le commencement de l'expérience, il n'y avait plus d'eau dans le bras positif du tube, à l'exception d'une très petite quantité adhérente au point où le fil entrait dans le tube. La différence des niveaux de l'eau dans les branches a été maintenue constante pendant trois jours en conservant les communications avec la pile. Le quatrième jour Reuss ayant supprimé les communications, l'eau descendit dans le bras négatif, rentra dans le bras positif et se trouva en peu de minutes de niveau dans les deux branches.

2e *Expérience*. — Un parallélipipède d'argile humide A (fig. 2) est surmonté de deux tubes de verre B et C dans lesquels on verse de l'eau. Deux électrodes de platine laissent passer à travers le liquide le courant d'une pile de 7 roubles d'argent et d'un même nombre de plaques de zinc. « Au bout de douze heures et demie, l'eau négative se trouve élevée au-dessus de son niveau primitif de deux lignes et demie..... Quarante-huit

heures après le commencement, l'eau négative avait atteint la plus grande hauteur savoir : 3 lignes au delà de son premier niveau. »

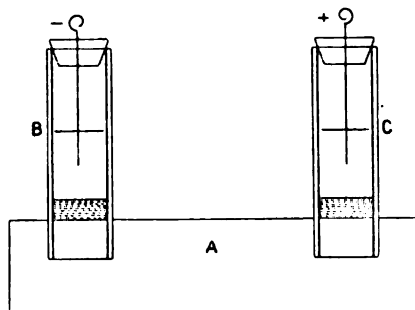


Fig. 2. — Expérience de Reuss.

Les expériences de Reuss paraissaient oubliées lorsqu'en 1816 Porret publia dans *Thomson's An. of philosoph.*, July 1816, une expérience analogue reproduite dans les *Annales de Gilbert*, t. LXVI, 1820, p. 272-275. Un verre est séparé en deux compartiments de manière à maintenir une différence de niveaux. La distance des niveaux ne variait qu'après plusieurs heures, la membrane n'était pas assez poreuse pour laisser passer l'eau. Porret plonge dans chaque compartiment une lame de platine reliée à l'un des pôles d'une pile de 80 éléments. L'eau est décomposée. Porret constate en outre qu'un peu moins d'une demi-heure après le début du courant « l'eau se trouve au même niveau dans les deux cellules et ensuite que l'eau s'élève dans la cellule négative 3/4 de pouce plus haut que dans la cellule positive. » Porret répète plusieurs fois cette expérience et obtient toujours une élévation de niveau dans la cellule négative au-dessus du niveau dans cellule positive.

Plus tard en 1835, Becquerel après avoir rappelé l'expérience de Porret indique l'expérience suivante (*Traité expérimental de l'électricité et du magnétisme*, t. III, p. 102, édition 1835) : Deux tubes fermés par des bouchons percés d'ouvertures très petites (fig. 3) sont remplis d'eau contenant de l'argile très fine suffisamment humectée. Les tubes sont maintenus verticalement dans un vase plein d'eau. Lorsqu'on plonge dans les deux tubes deux fils de platine reliés aux pôles d'une pile, on ne tarde pas à voir l'argile sortir par les ouvertures du bouchon positif, tandis que l'autre tube ne présente aucun phénomène semblable.

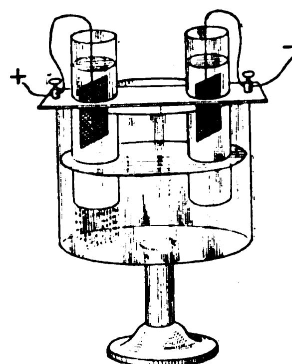


Fig. 3. — Expérience de Becquerel.

Les expériences de Reuss, de Porret, de Becquerel attirent l'attention sur un phénomène facile à observer, sans instrument, sans analyse, le dénivellement des liquides de chaque côté d'une paroi poreuse. La loi fondamentale de l'hydrostatique était en défaut. Par une réserve prudente, la vérification du fait était limitée au cas de l'eau, les solutions salines étaient exclues par les expérimentateurs cités.

Une expérience rapportée par Fox (*Ann. de Poggendorf*, t. XLVII, an. 1839, p. 604) parut ébranler ces réserves. Un diaphragme de terre cuite, disait la note, employé dans une pile à deux liquides, zinc dans l'eau acidulée, et cuivre dans l'un des sulfates de cuivre, de zinc ou de fer, présentait, lorsque le circuit était fermé pendant plusieurs mois, des crevasses longitudinales dans l'intérieur desquelles on voyait un dépôt des oxydes du sel employé. Les sels tendaient à traverser le diaphragme. Le phénomène entrevu par Fox a été précisé par Daniell et Miller.

Les recherches de Daniell sur les lois fondamentales de l'électrolyse des sels (*Ann. de Poggendorf*, 1842) amenèrent Daniell et Miller à une série d'expériences dans lesquelles une partie des sels soumis à l'électrolyse semblait suivre le courant, après la

décomposition du sel produite par le courant (*Philosophical Transactions*, an. 1884, p. 1-19).

Un cylindre de verre (fig. 4) est séparé en

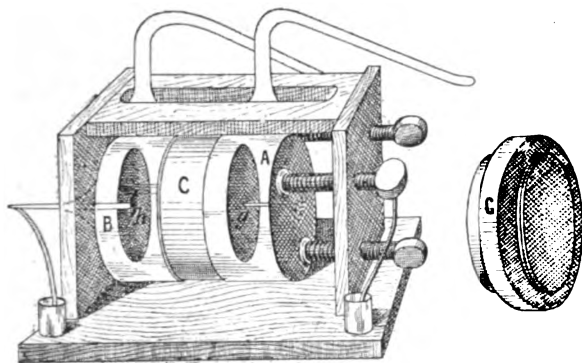


Fig. 4. — Appareil de Daniell.

trois compartiments A B C, par deux diaphragmes perpendiculaires à son axe. Deux auges contiguës sont remplies d'une même solution saline, la troisième d'un autre liquide. Deux disques de platine *g* et *h* montés parallèlement aux bases forment les électrodes. L'analyse des solutions après le passage du courant montre les changements dus au passage du courant.

Le caractère singulier du phénomène est la présence, à la fin de l'expérience, dans le compartiment négatif, de quelques-uns des éléments constituants des sels du compartiment positif à l'exclusion des autres éléments. Cette sorte de sélection a été particulièrement notable dans la décomposition des sels doubles.

Le compartiment négatif est rempli d'acide sulfurique étendu, le compartiment positif d'une dissolution de sulfate double de cuivre et de potassium. Le courant d'une batterie de vingt couples est maintenu pendant un temps suffisant pour produire sur l'électrode négative le dégagement de 48 pouces cubes d'hydrogène, environ un équivalent en grains. Après la suppression du courant, l'analyse des dissolutions montre que 1/2 équivalent de sulfate de potasse a été décomposé et que la moitié de cette quantité, ou 1/4 d'équivalent de sulfate, se trouve dans le compartiment négatif. La proportion de sulfate de cuivre dans le compartiment négatif est inappréciable.

Daniell et Miller remplacent le sulfate double de cuivre et de potasse par le sulfate double d'alumine et de potasse. Après avoir maintenu le courant de manière à recueillir sur l'ode de platine un équivalent d'hydrogène, les auteurs trouvent dans le compartiment négatif 1/4 d'équivalent de sulfate de potasse. La proportion de sulfate d'alumine est inappréciable (*loc. cit.*, p. 12-13).

Une troisième expérience est faite en versant dans le compartiment positif une dissolution de sulfate double de magnésie et de potasse; l'expérience est dirigée comme dans les deux cas précédents. Après le passage du courant, le compartiment négatif renferme environ 1/3 d'équivalent de potassium et 1/12 d'équivalent de magnésium (*loc. cit.*).

La sélection signalée au début se présente. Le sulfate de potasse se trouve seul à la fin de l'expérience dans le compartiment négatif.

Daniell et Miller énoncent le fait à peu près en ces termes. « Les trois bases, oxyde de cuivre, alumine, magnésie, ou leurs métaux combinés avec acide sulfurique et potasse refusent de passer sous l'influence du courant galvanique de l'électrode positive à l'électrode négative plongée dans un acide avec lequel ils seraient capables de former une combinaison immédiate et soluble. »

Les sulfates des trois expériences précédentes étaient des sulfates doubles. Les auteurs étaient amenés à chercher si le même résultat était observable dans l'électrolyse des sels simples du même acide. Le compartiment négatif étant rempli d'acide sulfurique dilué, le compartiment positif d'une dissolution de sulfate d'alumine après le passage du courant, l'ammoniaque décèle seulement des traces d'alumine dans le compartiment négatif.

La constitution chimique du sulfate d'alumine ($Al^2O^3,3SO^3$) paraît complexe; Daniell et Miller recommencent une série d'expé-

riences avec des sulfates de constitution simple :

1° Le compartiment positif est rempli de sulfate de cuivre, le compartiment négatif d'acide sulfurique étendu ; après le passage du courant, le cuivre n'est pas en quantité mesurable dans le compartiment négatif ;

2° Le sulfate de cuivre est maintenu dans le compartiment positif, le compartiment négatif est rempli de sulfate de potasse; après le passage du courant le compartiment négatif ne contient pas d'oxyde de cuivre ;

3° Les compartiments positif et négatif sont remplis de sulfate de cuivre; après le passage du courant, le compartiment positif contient la quantité de cuivre qui existait primitivement dans le sulfate de ce compartiment ; le sulfate de cuivre n'est donc pas passé à travers le diaphragme, du compartiment positif au compartiment négatif (*loc. cit.*, p. 15).

Une série d'expériences semblables dans lesquelles les auteurs substituent le sulfate de zinc au sulfate de cuivre, amènent Daniell et Miller à des résultats analogues.

Les faits constatés avec les sulfates doubles sont reproduits avec les sulfates simples. La dissolution du compartiment positif n'est plus entraînée dans le compartiment négatif, mais en même temps, le résultat se présente sous un autre aspect; les dissolutions des deux compartiments, identiques au début, n'ont plus la même concentration ; à la fin, l'appauvrissement d'une même solution est inégal dans le voisinage des deux électrodes.

En variant les diaphragmes de manière à changer la perméabilité, depuis les membranes jusqu'aux diaphragmes de terre poreuse, et même en supprimant le diaphragme dans l'électrolyse du sulfate de cuivre placé dans un tube en U, Daniell et Miller montrent que la différence d'appauvrissement n'est pas la conséquence immédiate de la présence du diaphragme.

En résumé, une auge est séparée en deux compartiments par un diaphragme. Les deux compartiments sont remplis :

1° D'eau ;

2° D'une solution d'un même sel ;

3° De deux solutions différentes.

Les liquides sont traversés par un courant galvanique; après le passage du courant :

1° Les niveaux de l'eau dans les deux compartiments ont changé ;

2° L'appauvrissement des solutions des deux compartiments est inégal ;

3° Une partie des éléments constituants des substances placées dans le compartiment positif est passée dans le compartiment négatif.

La simplicité de l'énoncé dissimule toute la complication du phénomène.

Le courant ne traverse pas les électrolytes sans les décomposer. Les liquides, homogènes avant le passage du courant, cessent de l'être dès que le courant les traverse. Deux liquides de composition sans cesse variables, suivant une loi inconnue, sont séparés par un diaphragme à travers lequel ils tendent à se mélanger.

Les liquides ainsi séparés : 1° sont capables de former des combinaisons chimiques ; 2° sont traversés par un courant galvanique ; 3° sont soumis à des lois inconnues résumées sous la dénomination de phénomènes d'osmose :

Les inconvénients du diaphragme sont :

1° La fixation dans les pores d'un liquide qui échappe à toute analyse, et c'est là le moindre inconvénient (Hittorf. *Ann. Pogg.*, t. LXXXIX, p. 184).

2° Une élévation de température considérable dans les petits filets liquides qui se ramifient dans les pores, comme l'a constaté Pouillet (*C. R. de l'Acad. des Sc.*, t. XX, 1845, p. 1544) ;

3° La production de phénomènes d'endosmose dont Pouillet (*loc. cit.*) n'a pas pu tenir un compte satisfaisant même après en avoir déterminé les principales conditions et lois. La vérification des faits, la recherche des lois deviennent l'objet du problème.

Deux causes aussi obscures l'une que l'autre interviennent :

L'électricité ;

L'osmose.

L'étude des phénomènes exige la division et la simplification du sujet.

L'analyse des phénomènes chimiques, produits par le courant, dans les liquides traversés par le courant, fournit un premier ensemble de résultats qui précise le problème.

La recherche de relations numériques entre les effets chimiques et physiques d'une part, et les données des phénomènes électriques déterminants d'autre part, forment la seconde division du sujet.

L'élimination du diaphragme et, par suite, la suppression des phénomènes d'osmose, ou le maintien du diaphragme, permettent, en outre, de partager les divisions précédentes en deux autres.

PREMIÈRE PARTIE

PHÉNOMÈNES CHIMIQUES ET MÉCANIQUES.

L'étude des phénomènes chimiques et mécaniques comprend :

1° La recherche des décompositions d'un sel au voisinage des électrodes, en évitant tout déplacement et tout mélange des substances résultant de la décomposition, ce que l'on peut appeler Électrolyse seule;

2° L'observation des phénomènes corrélatifs de l'électrolyse, lorsqu'une membrane poreuse est interposée entre les électrodes.

I. Électrolyse seule.

1. *Recherches expérimentales.*

Deux faits différencient les recherches développées successivement dans les importants mémoires de Pouillet, de Hittorf et de d'Almeida, entreprises avec une idée commune:

Le mode d'élimination du diaphragme;

L'étude très complexe du dissolvant.

Les sels sont dissous, le courant décompose le dissolvant. Le sel et le dissolvant décomposés peuvent réagir l'un sur l'autre. Les dispositions prises pour restreindre ou accentuer l'influence du dissolvant caractérisent chaque série d'expériences. Les résultats fournissent trois bases expérimentales indiscutables sur lesquelles ont été établies trois interprétations distinctes à discuter:

1° *Expériences de Pouillet.* — Pouillet remplace le diaphragme par un tube étroit placé entre les vases dans lesquels est effectuée l'électrolyse. *C. R. de l'Ac. des Sc.*, t. XX, 1845, p. 1544). La disposition de l'appareil est la suivante :

Deux tubes de verre (fig. 5) de 12 cm de hauteur sur 8 ou 10 mm de diamètre, disposés verticalement et réunis à leur partie inférieure par un tube courbe soudé à chacun d'eux, d'environ 2 mm de diamètre, sont destinés à contenir chacun 4 ou 5 cm^3 de liquide dans chaque branche. Ces tubes sont jaugés avec soin afin d'observer le changement total de volume que le liquide peut éprouver pendant l'opération. Les électrodes formées de fils de platine sont plongées dans les branches larges.

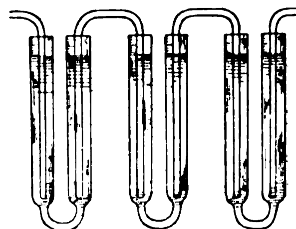


Fig. 5. — Appareil de Pouillet.

Le tube courbe de la partie inférieure suffit pour empêcher le mélange des solutions des branches verticales.

Lorsque plusieurs tubes sont placés sur un même courant, les branches larges sont réunies par des siphons remplis du même liquide.

Les sels étudiés par Pouillet sont seulement des chlorures, mais tous chlorures métalliques solubles, en solution dans l'eau, composés binaires séparables en deux éléments sans réactions secondaires.

Pouillet ne parle pas de la décomposition du dissolvant; l'expérience semble dirigée de manière à obtenir la décomposition du chlorure seul et à éviter la décomposition de l'eau; l'action du dissolvant est regardée comme nulle.

Lorsque l'appareil est rempli de chlorure d'or, le passage du courant produit une décoloration de la dissolution placée dans la branche négative. L'or est déposé sur le fil négatif sans trace de dégagement d'hydrogène, du chlore est dégagé sans oxygène autour de l'électrode positive. A la fin de l'expérience, le liquide de la branche positive contient autant de chlorure d'or qu'au commencement de l'expérience; celui de la branche négative en a perdu une quantité précisément correspondante au poids de l'or déposé.

Les résultats de la décomposition des autres chlorures sont analogues: dans toute cette série de corps composés, le pôle négatif n'a pas une action chimique à peu près exclusive, comme dans le chlorure d'or, mais il a toujours une action très prépondérante, de telle sorte que la branche négative finit par se dépouiller presque complètement de son chlorure, tandis que la branche positive en conserve encore des proportions considérables.

En résumé, les expériences de Pouillet mettent en évidence, dans l'hypothèse d'un effet nul du dissolvant, une décomposition inégale au voisinage des électrodes.

2° *Expériences de Hittorf.* — L'objet des recherches de Hittorf *(Ann. de Poggendorf*, t. LXXXIX 1853, p. 177-211; t. XCVIII, 1856, p. 1-34; t. CIII, 1858, p. 1-56; t. CVI, 1859, p. 337-411, p. 513-588), est l'étude des changements de concentration qu'une solution de sel métallique cristallisé éprouve dans les couches en contact avec les électrodes, par suite du passage du courant. Les dissolvants, eau, alcool et éther, servent de support aux molécules salines et sont regardés comme inertes. Hittorf cherche à obtenir et à maintenir les sels neutres, à éviter la formation d'acides libres et le dégagement d'hydrogène. La décomposition du sel par le courant doit être seule produite.

L'appareil (*Ann. de Pogg.*, t. LXXXIX, 1853,

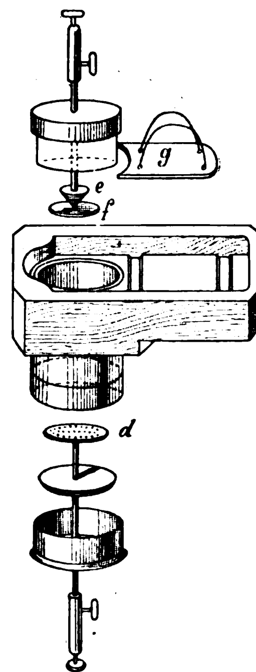


Fig. 6. — Appareil de Hittorf.

p. 187) est un vase cylindrique de verre dont l'axe est vertical, formé de deux tubes réunis par une monture de porcelaine (fig. 6 et 7). Une

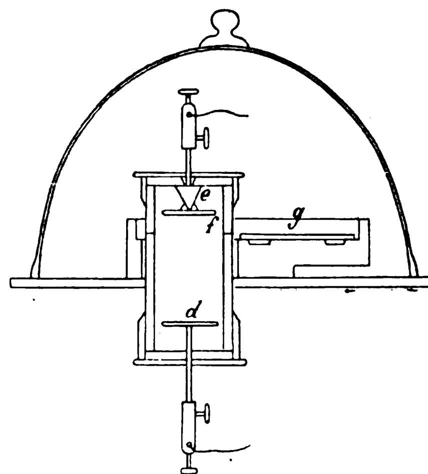


Fig. 7. — Appareil de Hittorf.

plaque de verre mobile *g*, percée d'une ouverture circulaire, permet de maintenir ou de supprimer la communication entre les tubes.

Un disque *d* horizontal du métal entrant dans la composition du sel étudié, placé à l'extrémité inférieure constitue l'électrode positive. Un cône *e* en argent dont le sommet est dirigé vers l'anode forme l'électrode négative. La disposition précédente a pour objet d'éviter la chute de parcelles qui pourraient être séparées ou détachées de la cathode par le courant. Un disque de verre horizontal *f*, de diamètre inférieur à celui du tube, fixé au sommet du cône constituant l'électrode négative, ne laisse entre son bord et la paroi interne du tube qu'un intervalle trop étroit pour le mélange des liquides qui baignent les deux électrodes.

Tout l'appareil est rempli d'une même dissolution de composition déterminée exempte d'air.

Hittorf (*Ann. de Pogg.*, t. LXXXIX, 1853, p. 189) pense avoir évité, sans emploi de diaphragme, tout phénomène de diffusion et d'osmose, et avoir rendu impossible « l'entraînement que, d'après M. G. Wiedemann, la masse de l'électrolyse éprouve de l'anode à la cathode » ; Hittorf pense obtenir et maintenir la neutralité par l'emploi de dissolution privée d'air et d'électrodes du métal entrant dans la composition du sel et éviter les actions secondaires en usant d'un courant qui ne produise aucun dégagement d'hydrogène.

Si ces conditions sont réalisées, le dissolvant est passif, le seul résultat du passage du courant est la décomposition du sel, la seule détermination à faire est le dosage de la quantité de sel qui existe dans le voisinage des électrodes après le passage du courant.

Lorsque le courant est maintenu pendant un temps suffisant, Hittorf pousse la glace mobile. Les liquides qui entourent les électrodes sont répartis, sans mouvement et sans mélange, dans deux compartiments correspondant aux électrodes.

I. Compartiment négatif : Hittorf détermine :

1° Le poids de métal déposé sur l'électrode négative;

2° Le poids de métal perdu par la solution renfermée dans le compartiment négatif.

La différence entre ces deux poids :

$$\left.\begin{array}{c}\text{Poids du métal}\\\text{déposé sur la cathode}\end{array}\right\} - \left\{\begin{array}{c}\text{Poids du métal perdu}\\\text{par le compartiment négatif}\end{array}\right.$$

est le poids du métal pris au compartiment positif.

Le quotient de cette différence par le poids du métal qui serait déposé par le courant dans un voltamètre rempli de la solution étudiée, est le poids du métal emprunté au compartiment positif par unité d'intensité.

L'exemple suivant déduit du mémoire de Hittorf (*Ann. de Pogg.*, t. LXXXIX, p. 191) permettra de suivre le calcul de Hittorf :

Électrolyse du sulfate de cuivre :

Poids de cuivre déposé sur la cathode. . . .	0,2759^{gr}
Poids de CuO dans la solution négative avant l'électrolyse. .	2,8543^{gr}
Poids de CuO dans la solution négative après l'électrolyse. .	2.5897^{gr}
Différence. .	0,2646 CuO ou 0,2112 Cu

Poids de cuivre déposé par unité d'intensité :

$$\frac{0,2975 - 0,2112}{0,2955} = \frac{863}{2955} = 0,292 \text{ ou } 29,2 \text{ p. } 100.$$

Hittorf attribue à l'oxydation du cuivre la différence $0,2975 - 0,2955 = 0,002$ et substitue dans son calcul 0,2955 à 0,2975, ce qui donne $\frac{843}{2955} = 28,5$ p. 100 au lieu de $\frac{863}{2955} = 29,2$.

II. — Compartiment positif : une détermination semblable peut être faite pour le liquide du compartiment positif.

Hittorf évalue :

1° Le poids de métal contenu dans la dissolution avant l'électrolyse : *e*;

2° Le poids de métal trouvé dans le compartiment positif après l'électrolyse : *d*;

3° Le poids de métal de l'anode dissous pendant le courant : *g*.

La différence $e - (d - g)$ est le poids de métal puisé dans le compartiment positif.

Le rapport de ce poids au poids dissous sur l'anode est le poids puisé au compartiment positif par unité d'intensité.

Les nombres déterminés par Hittorf dans l'électrolyse du sulfate de cuivre (*Ann. de Pogg.*, t. XCVIII, p. 7) sont :

Poids de cuivre contenu dans la dissolution avant l'électrolyse	1,1933
Poids de cuivre trouvé dans la dissolution après l'électrolyse	1,3577
Poids de cuivre perdu par l'anode ou dissous sur l'anode.	0,2294

Rapport :

$$\frac{1{,}1933 - (1{,}3577 - 0{,}2294)}{0{,}2294} = 0{,}284 \text{ ou } 28{,}4 \text{ p. } 100.$$

En résumé, Hittorf dose :

1° Le poids de métal déposé sur l'électrode négative qui n'est pas emprunté au liquide du compartiment négatif;

2° Le poids de métal disparu du compartiment positif.

Ces deux poids doivent être égaux.

L'égalité de ces deux poids que l'on devait prévoir (*Ann. de Pogg.*, t. CIII, p. 8) est vérifiée en particulier dans les expériences précédentes.

L'égalité des nombres indiqués amène naturellement l'auteur à l'idée de passage de métal du compartiment positif au compartiment négatif. Cette notion de transport sera plus loin la base de l'interprétation proposée par Hittorf; de là aussi les expressions de *nombre de transport* ou *proportion de métal transporté* employées par Hittorf pour désigner l'excès du poids de métal déposé sur l'électrode négative, sur le poids de métal puisé à la solution négative divisé par le poids total déposé, ou l'intensité du courant, langage imagé sous lequel se trouvent des résultats expérimentaux indépendants de toute hypothèse sur le mode d'action du courant.

L'inflence de l'intensité, de la concentration des dissolutions, de la nature du sel, de la nature du dissolvant, ont été successivement l'objet des recherches de Hittorf. Les résultats sont les suivants :

1° Loi des intensités :

Le sel, le dissolvant, la concentration, la température étant les mêmes, le poids de métal transporté est proportionnel à l'intensité.

2° Influence de la concentration :

Les effets du changement de concentration ont été étudiés par Hittorf avec des dissolutions dans l'eau de sulfate de cuivre, d'azotate d'argent (*loc. cit.*, t. LXXXIX, p. 203) de sulfate d'argent (*loc. cit.*, t. LXXXIX, p. 205), d'acétate d'argent (*loc. cit.*, t. LXXXIX, p. 206-208) de sel alcalins (*Ann. de Pogg.*, t. XCVIII, p. 18-33) chlorure, bromure, iodure de potassium, chlorure d'ammonium, acétate de potassium.

Des tableaux correspondants aux différents sels contiennent les proportions de sel dissous et les poids de métal transporté, ou nombres de transport correspondants.

Le tableau suivant des valeurs trouvées avec le sulfate de cuivre (*loc. cit.*, p. 196) en est un exemple :

Poids spécifique de la dissolution.	Quantité de sulfate de cuivre par rapport à l'eau.	Transport de cuivre.	
1,1521	1 SO^4Cu pour 6,35 Eau	27,6 p. 100	
1,1036	1 » » 9,56 »	28,8 »	
1,0553	1 » » 18,08 »	32,5 »	
1,0254	1 » » 39,67 »	35,5	35,5 moyenne.
1,0135	1 » » 76,88 »	34,9	
1,0071	1 » » 148,3 »	36,2	

L'ensemble des nombres obtenus avec des sels métalliques montre que :

a. Le poids de métal transporté par une même quantité d'électricité à travers des dissolutions d'un même sel, de concentrations différentes, le dissolvant et la température restant les mêmes, varie lorsque la proportion de sel est diminuée, jusqu'à une valeur à partir de laquelle le nombre de transport est indépendant de la concentration ;

b. Le poids de métal transporté par une même quantité d'électricité à travers des dissolutions, également concentrées, de différents

sels, à la même température, dépend de la nature du sel.

3° Influence de la nature du dissolvant : Les poids d'argent transportés par une même quantité d'électricité à travers deux solutions d'azotate d'argent, l'une dans l'eau, l'autre dans l'alcool (*Ann. de Pogg.*, t. LXXXIX, p. 209) mettent en évidence l'influence de la nature du dissolvant.

	Nombre de transport.
Solution aqueuse.	47,44
» alcoolique. . . .	42,6

En résumé, les expériences de Hittorf permettent de suivre deux phénomènes distincts indépendamment de toute hypothèse sur la cause qui les produit ;

1° L'appauvrissement des solutions des deux compartiments,

2° L'excès du poids de métal déposé sur le poids fourni par le compartiment négatif, et le poids de métal disparu de la solution positive, par unité d'intensité.

L'interprétation des résultats constituera plus loin la théorie des phénomènes.

3° Expériences de d'Almeida. — Les efforts de Hittorf tendaient à réduire à une proportion négligeable l'influence du dissolvant et les actions secondaires. Hittorf espérait ainsi les éliminer et étudier seulement la décomposition du sel. D'Almeida *(Ann. de chimie et de Physique;* 3e série, t. LI, 1857, p. 257), croit la réduction à zéro de ces actions irréalisable, l'élimination impossible, et cherche à en découvrir le jeu par la variation des circonstances qui en favorisent le développement. L'étude de la décomposition des sels est alors présentée sous un aspect complètement différent. D'Almeida se propose de comparer les changements de concentration des solutions dans deux auges :

1° Dans le cas où la solution est neutre et maintenue neutre pendant l'expérience ;

2° Dans le cas où la solution est acide.

Deux séries d'expériences sont faites.

1° Série avec les sels à bases métalliques.

2° Série avec les sels alcalins et terreux.

L'appareil (fig. 8) employé dans la première série pour permettre sans intermédiaire la communication des deux solutions, et empêcher le mélange, était formé de la manière suivante (*loc. cit.*, p. 264) :

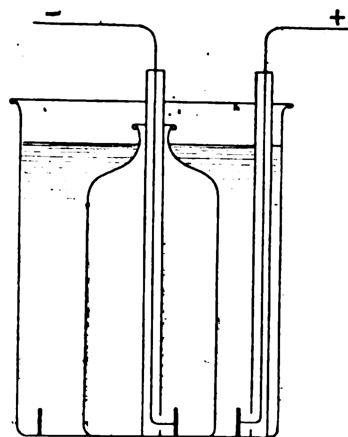


Fig. 8. — Appareil de d'Almeida.

Un flacon percé latéralement, vers la base du goulot, d'une ouverture de 2 ou 3 dixièmes de millimètre, est placé à l'intérieur d'un vase cylindrique. Le flacon et le vase cylindrique constituent deux auges que l'on remplit de liquide jusqu'à l'ouverture. Deux lames courbées de manière à contourner la base du flacon, reliées par des fils isolés aux pôles d'une pile, en sont les électrodes.

L'électrode positive est formée du métal qui entre dans la composition du sel étudié. Les dissolutions salines titrées sont versées avec une éprouvette graduée. Le poids du sel dans le compartiment est déduit du volume introduit. Le courant fermé traversait un voltamètre à gaz indiquant la marche de la décomposition.

Le courant arrêté après avoir traversé les appareils pendant un temps suffisant, l'analyse du liquide contenu dans les flacons et la détermination du poids de métal reçu par la lame négative permettaient de calculer le poids du sel formé ou décomposé dans chaque auge.

Le sel dont la neutralité est la plus facile à obtenir et à maintenir est l'azotate d'argent.

D'Almeida étudie la décomposition de deux solutions, la première neutre, la seconde acide (*loc. cit.*, p. 265-267).

Le résultat de la décomposition de l'azotate neutre par une pile de six éléments, maintenue pendant 48 heures, est la production, sur l'électrode négative, d'un dépôt de 140 mmg d'argent, l'abandon par la solution positive de 67 mmg d'argent, l'abandon par la solution négative de 73 mmg d'argent. La différence 73 — 67 montre que :

« Le dépôt s'est formé à peu près également aux dépens des deux branches. » La différence 6 mmg est cependant trop grande pour être attribuable aux erreurs d'observation. D'Almeida pense qu'elle est due à une réaction secondaire : « l'action d'une très petite quantité d'acide que le sel pourrait avoir retenue après la cristallisation, ou même qui serait devenue libre pendant l'électrolyse. »

L'exactitude de la prévision est confirmée par l'expérience suivante :

La décomposition de la solution acide de l'azotate d'argent est faite avec une dissolution de concentration identique à celle de la première, mais nettement acide, tandis que la première était employée neutre. « Sauf cette différence, l'opération a été conduite comme la première. »

Le dosage des solutions après le passage du courant montre que :

1° Le poids d'argent déposé sur la lame négative est : 140 mmg.

2° Le poids d'argent abandonné par la solution négative est : 140 mmg.

3° Le poids d'argent abandonné par la solution positive est : 0.

« On retrouve un des faits énoncés par Daniell et Miller et plus tard par Pouillet : Altération profonde de la solution négative, tandis que la solution positive est restée presque intacte. »

La neutralité que d'Almeida cherche successivement à réaliser avec des dissolutions d'azotate de cuivre, de sulfate de zinc, de chlorure de zinc, de sulfate d'argent, de sulfate de cuivre, n'a pas pu être maintenue, mais la proportion d'acide libre pouvait être augmentée ou diminuée, suivant les dispositions adoptées. D'Almeida trouve que la différence entre les poids de métal abandonné par la solution négative et par la solution positive, est d'autant plus grande que la proportion d'acide libre est plus considérable.

La seconde série d'expériences (*loc. cit.*, p. 278-280) sur la décomposition des sels alcalins et terreux amène aux mêmes conclusions.

« L'appareil (fig. 9) est formé d'un tube en

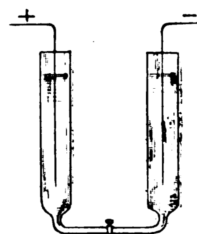


Fig. 9. — Appareil de d'Almeida.

U dont les deux branches verticales assez larges (2 cm de diamètre) sont réunies par un tube long et étroit (longueur 7 cm, diamètre 2 mm). Un robinet de verre, placé au milieu du tube de communication, permet de séparer les liquides des deux branches, quand la sûreté des manipulations l'exige.

L'appareil entier est rempli d'une même dissolution, le passage du courant rend acide la partie de la dissolution qui se trouve dans la branche positive, et alcaline la partie placée dans la branche négative. D'Almeida a cherché comment s'opérait la décomposition, lorsque la dissolution positive se trouvait mêlée avec un excès d'acide et lorsque la dissolution négative était maintenue à l'état neutre (*loc. cit.*, p. 279), par des additions d'acide convenablement graduées, en conservant l'égalité de niveaux dans les deux branches.

Une expérience analogue a été faite dans le but d'étudier l'action de l'alcali qui se développe au pôle négatif. L'expérience est dirigée de manière que l'alcali soit la seule cause perturbatrice de la décomposition du sel neutre.

Une troisième expérience (*loc. cit.*, p. 282) a pour objet de rechercher comment la décomposition s'opère quand les deux dissolutions restent neutres pendant le passage du courant.

Le résultat des expériences est le suivant (*loc. cit.*, p. 278) :

1° Quand le courant traverse une dissolution saline, constamment acide dans la moitié où plonge l'électrode positive, constamment neutre dans l'autre moitié, on trouve que le sel disparaît inégalement des deux côtés. C'est la branche positive qui s'appauvrit le moins ;

2° Quand le courant traverse une dissolution toujours neutre près de l'électrode positive, toujours alcaline près de l'électrode négative, le résultat est inverse du précédent C'est de la branche négative que le sel disparaît en plus petite quantité ;

3° Enfin si le courant traverse une dissolution constamment neutre des deux côtés, les deux parties de la dissolution perdent des quantités égales de sel.

L'ensemble des expériences établit une corrélation entre l'inégalité de l'appauvrissement des dissolutions des deux compartiments et la quantité d'acide libre dans le voisinage des électrodes.

(*A suivre.*)

G. Gouré de Villemontée.

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ (1)

Dans presque toutes les distributions d'énergie électrique, il est nécessaire de disposer de commutateurs généraux ou individuels, permettant de régler parfois, même à

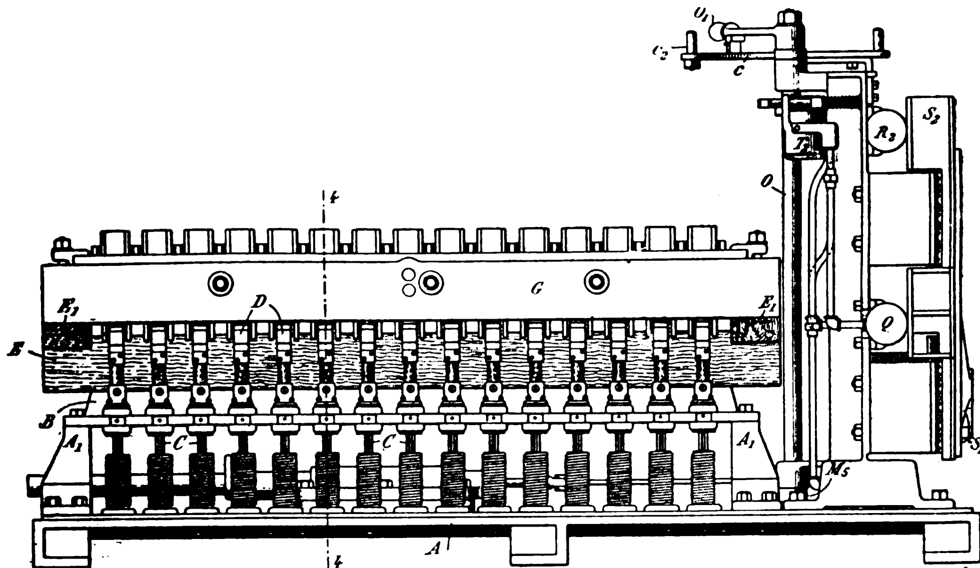


Fig. 1. — Commutateur pneumatique Priest et Merrick (1897). — Élévation.

distance, la marche de chaque moteur ou des groupes de moteurs. Voici la description de quelques-uns de ces appareils des plus récents.

Le commutateur pneumatique de Priest et Merrick, construit par la General Elec-

(1) *L'Éclairage Électrique*, 4 septembre, t. XII, p. 442.

TRIC C°, pour ses tramways et grues électriques, est du « type série-parallèle » et permet de relier pour le démarrage, un certain nombre de moteurs, en série sur des résistances que l'on annule graduellement, puis de rétablir ces résistances, interrompre

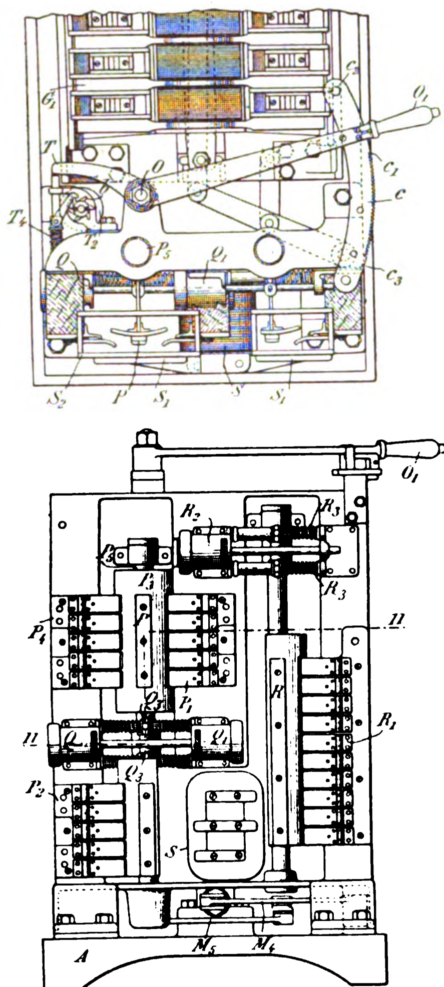


Fig. 2 et 3. — Commutateur Priest et Merrick, plan et vue par bout à droite de la figure 1.

le circuit, relier les moteurs non plus en série, mais en parallèle, refermer le circuit, puis supprimer comme précédemment les résistances.

Les contacts D, au nombre de 15, sont actionnés au moyen des tiges C (fig. 4), des pistons C_3 à rappel par ressorts C_4 qui, poussés par de l'air comprimé admis au moment voulu par les tuyaux M, ferment leur contact en F_2 F_3.

Le commutateur série-parallèle P (fig. 2, 3 et 4) est aussi actionné par un cylindre à air comprimé Q et Q_1, avec rappel par ressorts Q_4, qui font osciller sa touche de cuivre entre les contacts P_2 et P_1. Au-dessus de cette touche, se trouve un arc P_3, en fer re-

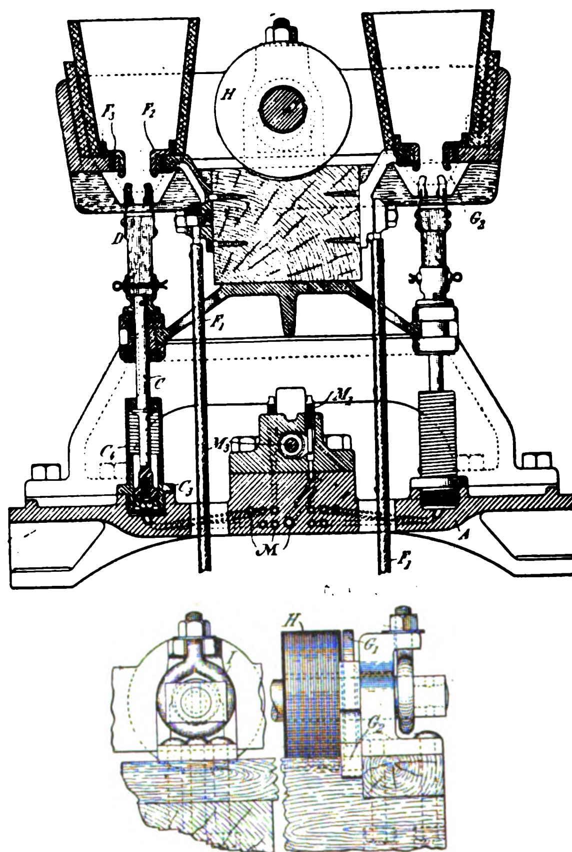


Fig. 4 à 6. — Commutateur Priest et Merrick, détail d'un contact. Coupe 4-4 (fig. 1).

couvert de mica et formant une partie du circuit magnétique du pôle S_1 de l'électro-aimant S.

Le coupe-circuit des résistances, constitué par un cylindre dont la lame R (fig. 3) supprime les résistances par son contact avec les balais R_1, est actionné par le cylindre à air comprimé R_2 avec rappel R_3.

L'électro-aimant S sert à souffler par ses pôles S_1 S_2 l'arc de rupture des circuits en P_2 P_1 et R_1.

La distribution de l'air comprimé aux cylindres Q, Q_1, R_2 et C s'opère au moyen de la valve distributrice représentée en figure 9 à 12 et du cylindre M_8 (fig. 7), à manœuvre

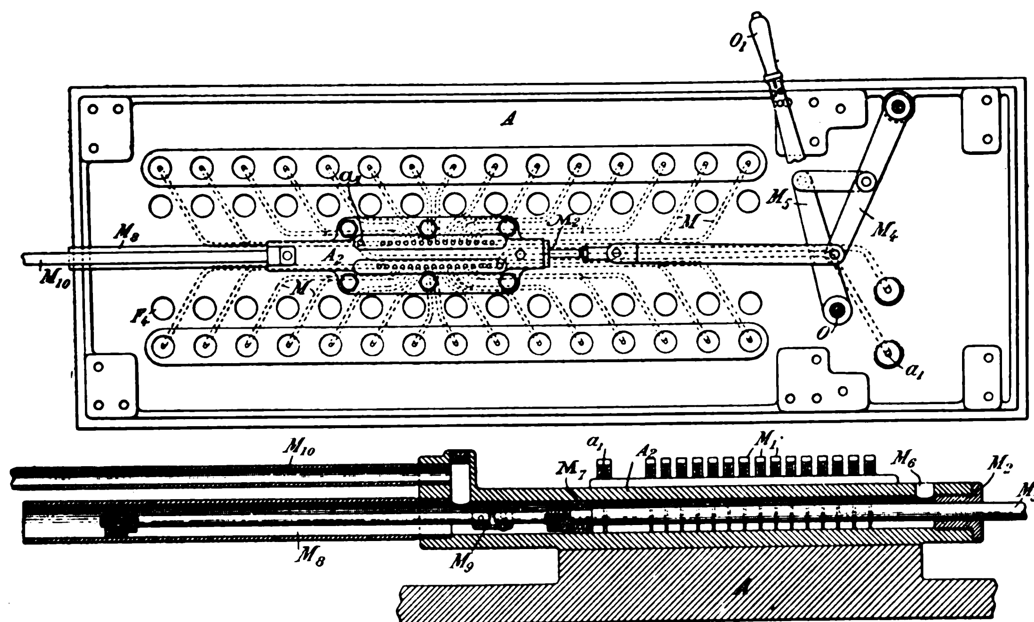


Fig. 7 et 8. — Commutateur Priest et Merrick, détail du distributeur.

Q_1 Q, dont l'arbre O porte (fig. 9) un levier T,

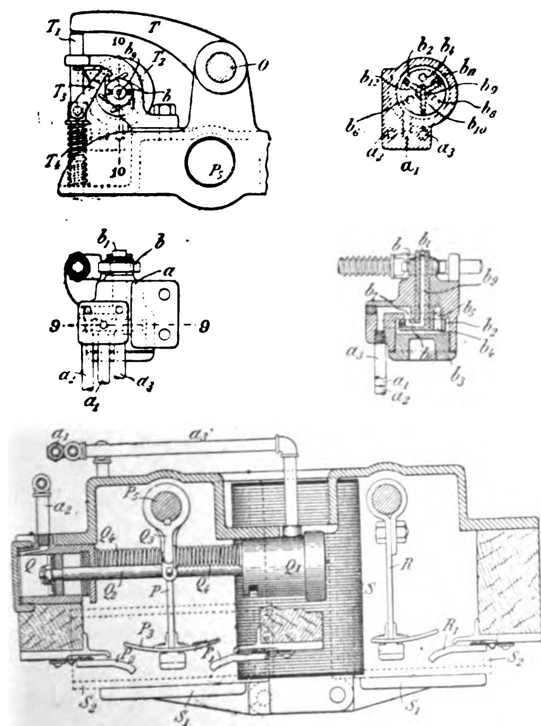


Fig. 9 à 13. — Commutateur Priest et Merrick. Détail du distributeur et coupe 11-11 (fig. 3).

actionnant, par la touche T_1, à rappel T_4, un rochet à six pans T_3, calé sur l'arbre b_1, por-

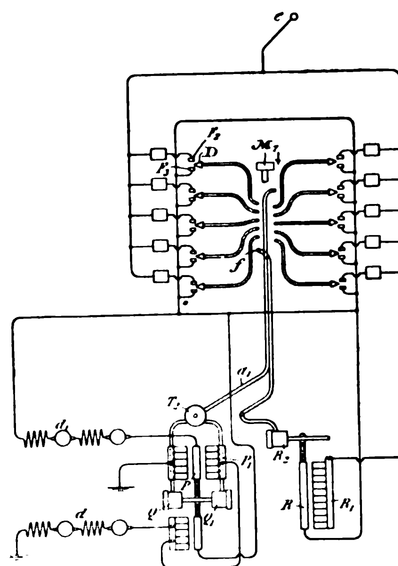


Fig. 14. — Commutateur Priest et Merrick, schéma des circuits.

teur d'un disque b_2, percé de trois trous b_4, b_6, b_8. Ce disque tourne sur un siège à trois

trous b_5, b_7, b_9, correspondant aux tuyaux a_1, a_2 et a_3. Quand on amène, par O_1 (fig. 7) le piston M_7 à découvrir le débouché du tuyau *a* dans son cylindre, l'air comprimé, admis à ce

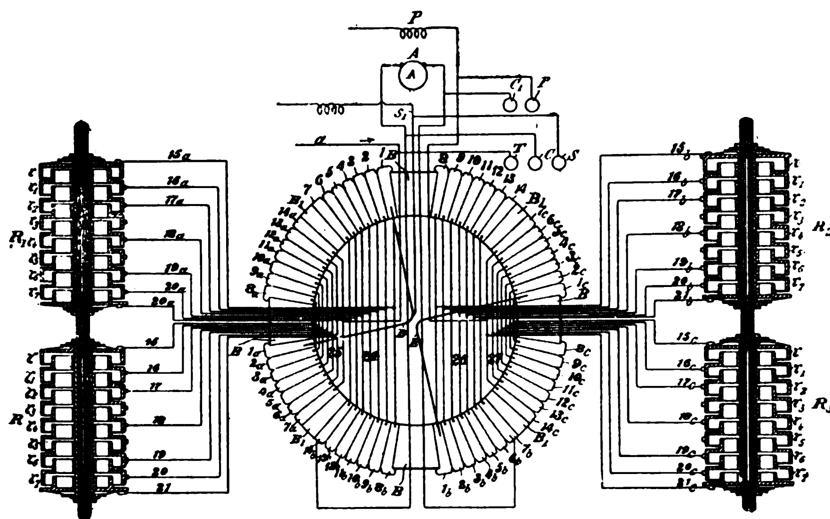


Fig. 15. — Commutateur Davis (1897), schéma des circuits.

cylindre par M_{10}, passe, par *a'*, dans la cham-

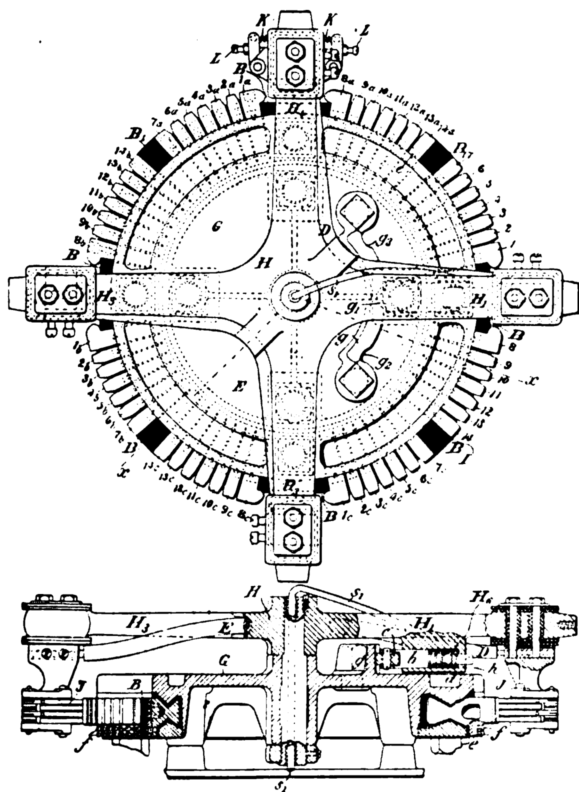


Fig. 16 et 17. — Commutateur Davis, plan et coupe *xx*.

bre de b_2 (fig. 12); puis, si le trou b_4 de b_2 coïncide avec b_5, au tuyau a_2 du cylindre du commutateur série Q. Lorsque l'on déplacera

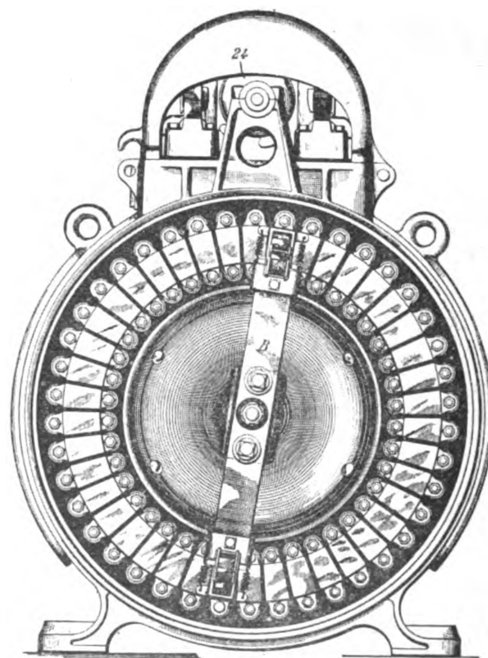


Fig. 18. — Commutateur Morgan (1897), vue par bout.

ensuite M_7 vers la gauche (fig. 8) de manière à laisser l'air comprimé s'échapper de a_1 par M_6, le ressort Q_1 de Q ramènera le commuta-

teur P dans sa position neutre représentée en figure 13. Le mouvement suivant du levier T, faisant pivoter b_2 d'un sixième de tour, fermera b_5, et amènera b_6 devant b_7 et le tuyau a_3 du cylindre Q : connexion en parallèle (fig. 3). Un troisième abaissement de T, amenant b_8 à la position occupée par b_4 sur la figure 10, ramènera l'air comprimé au cylindre Q.

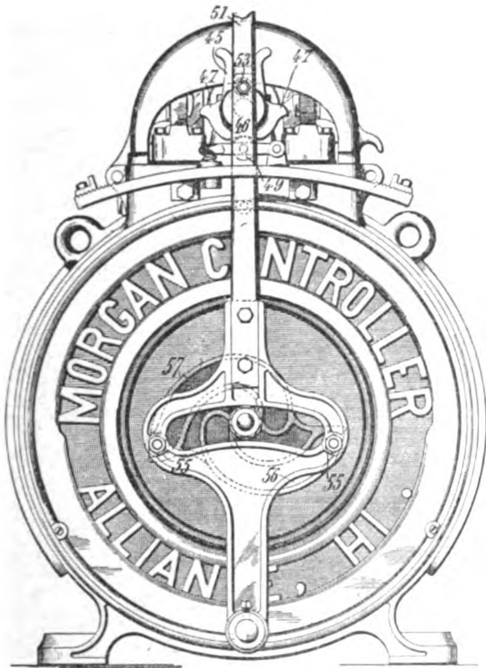


Fig. 19. — Commutateur Morgan, vue par bout.

Le disque b_2 porte des lumières auxiliaires b_{10}, b_{11}, b_{12}, reliées au canal central b_9 de b_1, et disposées de manière à communiquer un instant, pendant la rotation de b_2, avec b_5 et b_7 de façon à ouvrir à l'air des cylindres Q et Q_1 un échappement auxiliaire par b_1 et à en éviter ainsi l'engorgement dans les manœuvres rapides.

Ceci compris, voici comment fonctionne l'appareil, le manipulateur O_1 occupant la position figure 2 et le distributeur T_3 étant ouverts sur le cylindre des séries Q. Pour passer du groupement série au groupement en parallèle, il suffit d'amener O_1 de C_1 à C_2, de façon à faire tourner T_3 d'un cran. Ensuite, à mesure que l'on descendra O_1, à partir de C_1, le piston M_7 admettra par M_1 M (fig. 4 et 13) l'air comprimé de M_2 successivement aux cylindres C des conctacts D (fig. 14) des différents moteurs d_1 d (fig. 14), retranchant ainsi de leur circuit à prise e les résistances, jusqu'à ce que, arrivé en C_3 (fig. 2) au bas du secteur C, O_1 admette par le dernier trou M (fig. 6 et 14) l'air comprimé au cylindre R_2, qui coupe toutes les résistances.

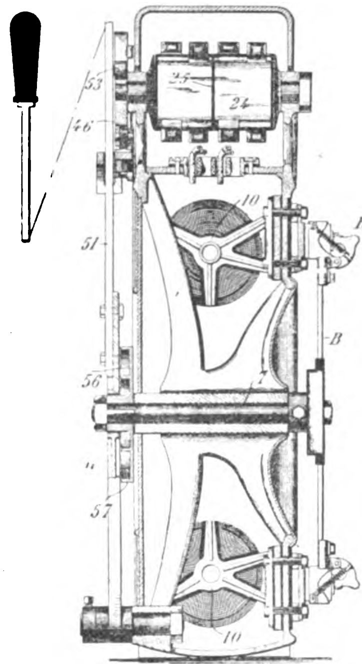


Fig. 20. — Commutateur Morgan, coupe diamétrale verticale.

Chacun des contacts D est composé de deux pièces D_1 (fig. 4) reliées par une pièce métallique D_2, qui fond si l'intensité du courant dépasse la limite permise. Leurs étincelles sont soufflées par les pôles G_1 G_2 des électros H, faciles à remplacer en déboulonnant leur attache I (fig. 6).

Le commutateur Davis, de la compagnie Westinghouse, est spécialement étudié pour les moteurs des grues et ascenseurs électriques. Ces moteurs A (fig. 15) sont avec inducteur, en série P et dérivation s. Chacun des quatre bras H_1 H_2 H_3 H_4 (fig. 16) du commutateur H reliés : H^1 et H_4 par D_1, H_2 et H_3

par E, est pourvu de balais J, appuyés sur leurs contacts par des ressorts avec un jeu limité par des butées. Les contacts sont

Fig. 21. — Commutateur Morgan, détail d'un contact.

divisés en huit secteurs, de sept contacts chacun, séparés par des isolants B, et isolés les uns des autres par des micas I. Le socle C porte une came g, à encoches g_1 g_2 g_3, fixant les commutateurs dans les positions correspondantes par son galet C. Les contacts sont (fig. 15) reliés entre eux par couples et à des rhéostats R_1 R_2 R_3 R_4, chacun de huit sections accouplées en séries comme l'indique la figure.

Quand les commutateurs et ses conducteurs D_1 et E occupent la position figure 15, toutes les résistances sont introduites dans le circuit, avec le courant pris en T, traversant l'armature A de C en C_1 ; puis, en tournant le commutateur de droite à gauche, on supprime successivement toutes ces résistances ; en les tournant de gauche à droite, on les réintroduira, puis on fera passer le courant en A, de C en C_1 et on les supprimera de nouveau. On remarquera que les enroulements en dérivation de A sont constamment reliés à D par s_1, de sorte que leur circuit n'est jamais interrompu tant qu'il passe un courant dans le moteur.

Fig. 22 à 24. — Commutateur Morgan, schéma du fonctionnement.

Le commutateur de Morgan représenté par les figures 18 à 24 a son bras de rhéostat B commandé par le même levier 51, que l'inverseur 25, 24, et toujours dans le même sens, quel que soit celui de la commutation. A cet effet, le levier 51, qui commande l'inverseur par son galet 53 et la fourche 45, à cames 47, la fixant en ses trois positions par la prise du galet à ressort 46 dans ses encoches, attaque l'aiguille B par la prise de ses galets 55 dans la double came 56-57, disposées de manière à faire tourner B toujours dans le même sens, quel que soit celui de l'oscillation de 51. En outre, la vitesse de rotation de B augmente à mesure que 51 s'écarte davantage de sa position verticale.

Les contacts de B sont constitués (fig. 21) par des blocs 40, appuyés sur les fourches par des ressorts ; il en est de même des inverseurs 24-27.

Le jeu de cet appareil est facile à suivre sur les schémas (fig. 22 à 24) dans lesquels on a représenté par xy les fils d'amener et de sor-

tie du circuit moteur, par $i\ j\ k\ l$ les quatre groupes des touches $i_1\ j_1$..... de l'aiguille B, à rhéostat 10 (fig. 20) et c' (fig. 22) par ($r_1\ r_2\ r_3\ r_4$. ($s_1\ s_2\ s_3\ s_4$) les contacts des inverseurs 27 et 24) Quand on passe de la position neutre (fig. 22)

Fig. 25. — Mise en train Picper (1896).

à la position (fig. 23), le courant suit le trajet (X $s_2\ t\ l_3\ l_2\ s_1\ t_1$, l'inducteur D du moteur, $t_2 s_3\ l_4\ j_2\ r_1\ C_1$ B C $t_4\ r_1\ j_1\ l_1\ s\ t_7$, l'armature D_1 $t_3\ y$). Dans la position inverse de 55 (fig. 24) le courant suit au contraire le trajet ($s_2\ k_3\ k_4$ $s_3\ t_2$ D $t\ s_1\ k_2\ i_2\ 3_2\ t_6\ 3_3$ C' B C $t_4\ r_1\ t_3\ r\ i_1\ k_1$ $s\ t_7$ $D_1\ t_8$) renversant la marche du moteur.

Pour mettre en train le moteur a, f avec le dispositif de M. Pieper représenté schématiquement en figure 25, on ferme, par s, la dérivation $s_1\ s_1$ autour de l'électro-aimant cc_1 et l'on amène, par pédale ou à la main, le levier l dans la position pointillée, où plongeant, grâce à la résistance du ressort w, graduellement dans le liquide conducteur r, il ferme peu à peu le circuit moteur $- p + p$ sur l'armature a de la réceptrice, puis on coupe la dérivation s, de sorte que l'électro e, ainsi placé dans le circuit de a, maintient l dans la position pointillée. Mais, dès que le travail du moteur diminue, et par suite l'intensité du courant en a, au-dessous de la valeur déterminée par le ressort w, ce ressort, ramenant l dans sa position indiquée en traits pleins, coupe le circuit $- p\ a\ c\ l\ r + p$ et ferme en $g\ g_1\ l_1\ l_2$ le circuit de a sur lui-même, de façon que l'armature a, agissant comme un frein, s'arrête très vite.

(*A suivre.*)

G. Richard.

INSTALLATION A COURANTS DIPHASÉS DU LABORATOIRE DE L'ÉCOLE SPÉCIALE DE MONS [1]

III. — Génératrice bipolaire a courants diphasés.

A. *Description.*

Les figures 10 à 13 donnent graphiquement une idée complète de la structure de la machine.

Le *bâti* en fonte est solidaire des paliers et de la pièce polaire inférieure. Il repose sur deux sabots G en fonte, à vis pour faciliter la pose de l'appareil et tendre la courroie. Les sabots sont fixés au massif en maçonnerie de la façon ordinaire.

Le *circuit magnétique*, du type Manchester, se compose de quatre parties principales réunies par deux boulons : horizontalement, les pièces polaires en fonte prolongées pour former les culasses ; verticalement, les noyaux en fer doux des électros inducteurs boulonnés aux culasses. Les épanouissements polaires s'étendent dans un angle de 135° et ils sont presque coupés en deux parties égales dans l'axe vertical pour diminuer les flux transver-

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 21 août 1897, t. XII, p. 340.

***

seaux. L'anneau de l'induit, en tôles minces de fer doux séparées par des feuilles de papier isolantes, complète le circuit.

Les dimensions exactes du circuit magnétique sont renseignées aux figures 11 et 12.

Les *bobines inductrices b*, reliées en série, sont recouvertes chacune de 972 spires de fil rond de 2,7 mm de diamètre. Elles sont parcourues en marche normale par un courant de 15 ampères. La densité du courant dans les bobines excitatrices est ainsi de 2,6 ampères par millimètre carré.

L'enroulement d'induit pour courants biphasés est représenté aux figures 12 et 13. Il est divisé en quatre sections $x\,y$ enroulées dans le même sens et reliées en tension en réunis-

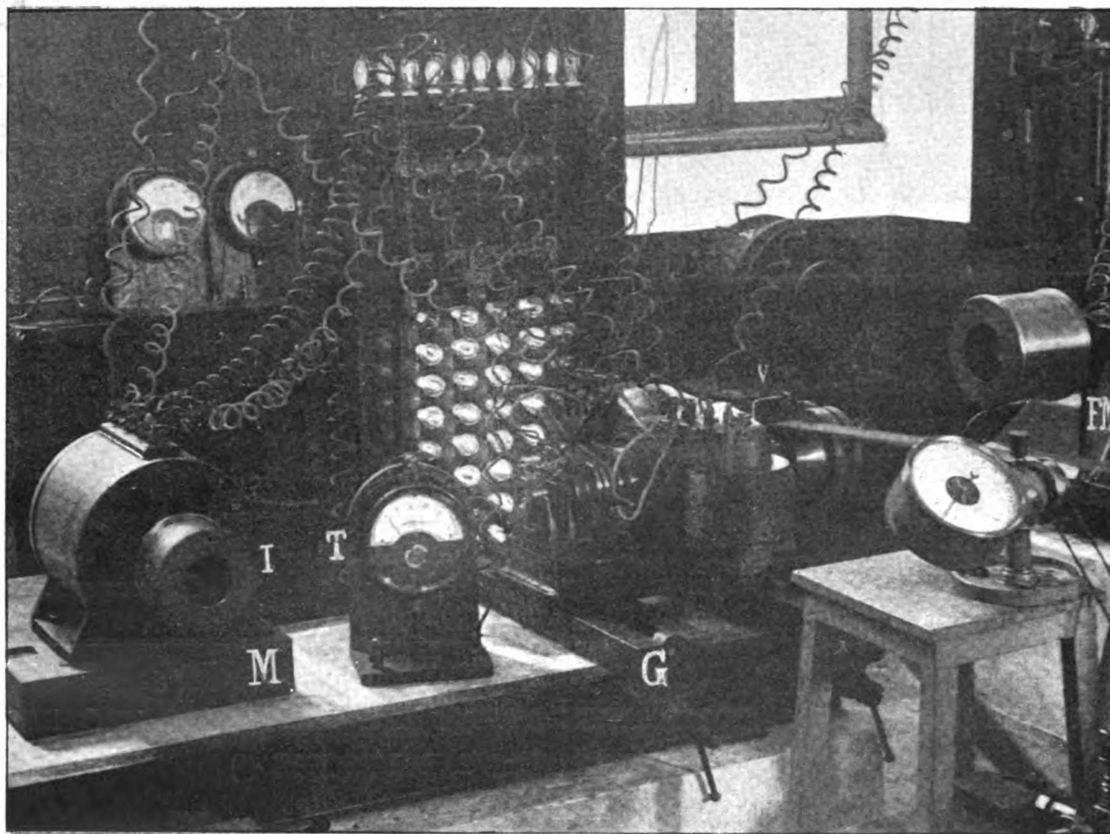


Fig. 10. — Génératrice bipolaire à courants diphasés du Laboratoire de l'École spéciale de Mons.

sant celles qui sont opposées, c'est-à-dire situées vis-à-vis de pôles de nom contraire ou dans des régions du flux semblables mais de sens différent. Cette liaison en tension se fait en connectant les bobines à l'inverse, bout commençant à bout commençant et bout finissant à bout finissant.

Lorsque le circuit x est en face des pôles, le circuit y est au milieu entre deux pôles. La force électromotrice dans le premier passe donc par un maximum quand elle est zéro dans le second et les courbes des forces électromotrices comme celles des courants, sont décalées de $\frac{\pi}{2}$ ou 90°.

Le bobinage d'un quart de l'induit comprend 10 sections de 5 spires m soit 50 spires; chaque circuit à courant alternatif est ainsi formé de 100 spires de fil rectangulaire de 2 sur 4,5 mm. Le courant normal étant de 30 ampères, la densité dans le fil est de 3,33 ampères par millimètre carré.

L'excitation est indépendante ou produite par l'induit, au choix. Dans ce dernier cas, on se sert d'un enroulement continu en anneau Gramme disposé sur l'induit entre le bobinage à courants diphasés. Cet enroulement comprend 40 sections *o* de deux spires placées entre autant de sections *m* déjà décrites. Les sections sont en fil rond de 2 mm de diamètre reliées à 40 lames *r* d'un collecteur ordinaire.

Le *noyau a* de l'induit est porté par un croisillon en bronze calé et vissé sur l'arbre, et séparé des faces polaires par un entrefer de 9 mm, ce qui porte à 4,5 mm l'espace réservé à l'isolement de l'induit, à son sertissage et au jeu nécessaire pour un bon fonctionnement.

Les diamètres extérieur et intérieur du noyau sont de 19 à 14 cm, sa longueur et celle de pièces polaires respectivement 19 et 18 cm.

Les *collecteurs* comprennent d'abord un

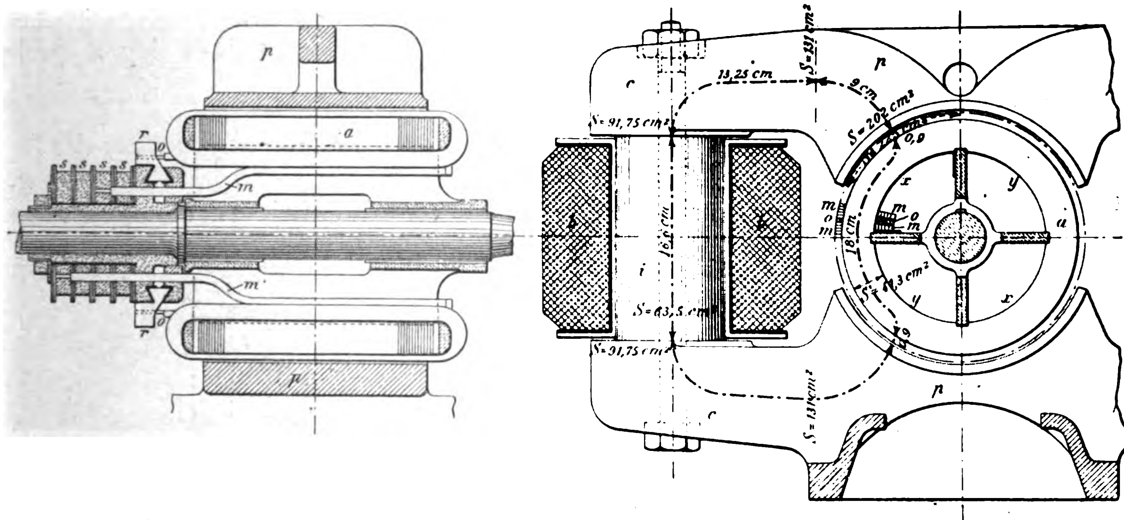


Fig. 11 et 12. — Coupes longitudinale et transversale de la génératrice bipolaire.

commutateur Gramme ordinaire *r* coincé entre un manchon adossé à une embrase de l'arbre et une bague reliée au premier par 8 vis de serrage non visibles sur les dessins; ensuite quatre bagues *s* à courants alternatifs séparées par des disques en fibre vulcanisée et serrées sur le premier manchon par un fort écrou en fer. Les quatre extrémités *m* des deux circuits sont réunies à ces bagues comme l'indique la figure 11. L'arbre de l'induit porte à une extrémité une poulie d'attaque de 12 cm de diamètre sur 8 de largeur. Il est soutenu par deux paliers solidaires du bâti, à coussinets en bronze de 30 mm de diamètre intérieur, à réservoir d'huile et à bague mobile de graissage en bronze. Il fait normalement 2 000 *tours par minute*. La figure 10, lettre G, donne l'ensemble de la génératrice. Les multiples bornes correspondent, de chaque côté de l'arbre, à un circuit d'induit à courant alternatif, une sortie du circuit d'induit à courant continu et une entrée du circuit d'excitation. Plus loin que la poulie, on voit un plateau tournant en bois à bande circulaire en laiton et à contact instanté de même métal frotté par deux balais spéciaux. Un autre plateau fixe divisé est placé à la suite du premier. C'est le dispositif ordinaire pour lever les courbes de forces électromotrices par la méthode de M. Joubert.

Un tachymètre placé près de la machine donne le nombre de tours de l'arbre moteur intermédiaire de l'une des salles du laboratoire. La poulie visible, derrière et à droite du tachymètre, est la poulie du frein de

Prony du moteur électrique du type Edison-Hopkinson qui actionne la transmission intermédiaire par une autre poulie bombée. Tout au dernier plan, à droite de la fenêtre,

Fig. 13. — Disposition des bobines de l'induit pour courants alternatifs.

on aperçoit le tableau de commande de ce moteur.

B. *Résultats de calculs et d'expériences.*

Dans le journal *L'Éclairage Électrique* du 1er juin 1895, nous avons décrit une méthode exacte de détermination par le calcul de la caractéristique externe de la dynamo que nous examinons en ce moment. Nous avons alors donné des tableaux et des diagrammes de résultats théoriques et expérimentaux. Nous reprendrons quelques-uns de ces résultats et nous renverrons au journal cité pour les détails des calculs et des expériences, puis nous donnerons de nouveaux renseignements que nous avons déterminés il y a quelque temps déjà.

a. *Courbes des flux en fonctions des forces magnétomotrices ou courbes d'Hopkinson.* — On trouvera dans le journal indiqué l'exposé

Fig. 14. — Courbes d'Hopkinson.

du calcul des courbes d'Hopkinson dessinées sur la figure 14.

$\Phi u\ (r_a + r_e)$ représente la force magnétomotrice nécessaire pour faire circuler le flux utile à travers l'armature et l'entrefer;

$\Sigma\ \Phi\ r_{icp} = \Phi_i r_i + \Phi_c r_c + \Phi_p r_p$ indique la force magnétomotrice absorbée par les noyaux inducteurs, les culasses et les pièces polaires;

$\Sigma\ \Phi r$ de la courbe (3) montre la variation

de *la valeur de la somme totale des forces magnétomotrices effectives* pour des flux donnés dans l'hypothèse où les pertes de flux donnent les coefficients suivants :

$$\nu = \frac{\Phi_i}{\Phi_u} = 2, \quad \frac{\Phi_i}{\Phi_p} = 1{,}55, \quad \frac{\Phi_i}{\Phi_c} = 1{,}3.$$

Le coefficient $\nu = 2$ a été vérifié expérimentalement par la méthode balistique. La courbe (3) est obtenue en ajoutant les abscisses des courbes (1) et (2).

A circuit ouvert, avec l'excitatiou de 15 ampères, le flux utile est de 1 250 000 et le flux inducteur Φi est de 2 500 000 unités C. G. S. On voit que les points correspondants des courbes sont *a*, *b* et *c* et qu'*alors qu'il y a saturation pour le groupe formé par les inducteurs les culasses et les pièces polaires l'armature fonctionne encore à grande perméabilité.* Le calcul et l'expérience établissent qu'*en charge, la saturation des inducteurs et des culasses se maintient et la perméabilité de l'armature augmente.* Le flux inducteur reste en effet presque constant, tandis que le flux utile de

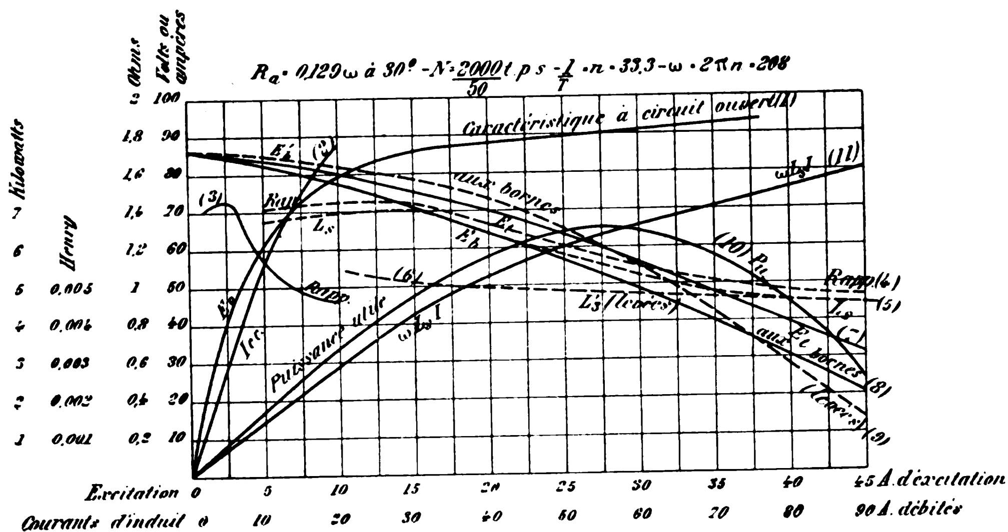


Fig. 15. — Caractéristiques diverses. .

l'induit diminue et tombe à la valeur de 500 000 environ au débit de 85 ampères efficaces.

La figure fait bien voir que l'armature approcherait seulement de la saturation pour un flux utile de $1{,}6 \times 10^6$ C. G. S.

b. *Caractéristique de la force électromotrice à circuit ouvert.* — La courbe 1 de la figure 15 donne cette caractéristique levée à 2 000 tours de la dynamo. On y lit qu'à 15 ampères d'excitation la force électromotrice est de 86 volts et que la saturation du circuit magnétique est proche. Cette saturation n'est pas cependant aussi proche que l'indique la courbe 3 qui précède. C'est que, probablement, nous avons compté pour établir cette dernière sur des perméabilités qui sont dépas sées par celles des métaux employés.

C'est là une cause d'erreur qu'on ne peut éviter que par une étude expérimentale préalable des matières magnétiques. Comme l'ont montré nos travaux antérieurs, les approximations du calcul sont ici entièrement satisfaisantes.

c. *Caractéristique externe en charge.* — La figure 16, que nous empruntons à l'article de juin 1895 donne les caractéristiques calculées et levées en charge. Elles sont reprises à 2000 tours par minute et à excitation normale indépendante constante. La courbe calculée diffère peu de la courbe levée si on tient compte de la perte de flux pour l'intérieur de

l'anneau, très forte à grand débit, et de la variation de valeur du coefficient ν de flux total [1].

d. *Courbe du flux utile* Φ_u (fig. 16). — La courbe levée (trait mixte) est un peu différente de la courbe calculée (trait plein). Sous grande charge, elle tombe plus vite que la dernière parce que celle-ci a été tracée sans tenir compte de la perte de flux par l'intérieur de l'anneau [1].

e. *Courbe du flux des inducteurs* Φ_i (fig. 16). — Le flux des inducteurs, calculé (trait plein)

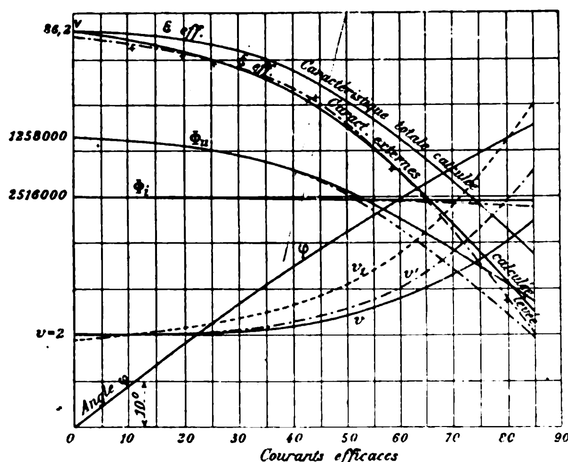


Fig. 16. — Courbes des forces électromotrices aux bornes, des flux, des angles de décalage et des coefficients de flux total.

ou déterminé par la méthode balistique (trait mixte) varie très peu, la f. c. m. m. de l'induit refoulant dans l'air un flux perdu croissant et le flux total restant sensiblement constant parce que la réluctance combinée et la f. c. m. m. donnent une réaction peu différente à tous les régimes.

L'échelle des courbes des différents flux n'est pas la même pour les maintenir dans le cadre du diagramme.

f. *Courbe des coefficients* ν *de flux total* (fig. 16). — Le coefficient $\nu = \frac{\Phi_i}{\Phi_u}$ est le facteur communément appelé, mais à tort, coefficient de perte de flux. C'est le coefficient qui, multipliant le flux utile, donne le flux total produit Φi. La courbe calculée sans tenir compte de la perte de flux par l'intérieur de l'anneau est dessiné en trait plein. La courbe ν' a été levée au balistique. Elle est plus élevée que la courbe théorique comme on devait s'y attendre.

On voit que, contrairement à ce que l'on croit encore trop souvent, le coefficient de flux total varie dans de fortes proportions avec le débit.

La courbe ν_1 a été obtenue également par la méthode balistique en faisant circuler des courants croissants dans un des enroulements induits opposé pôle pour pôle au flux inducteur, c'est-à-dire ayant son plan perpendiculaire à la direction du flux inducteur et tendant à produire un flux directement contraire à ce dernier. L'excitation était produite par le courant normal de 15 ampères et nous procédions par inversion des courants inducteur et induit.

Cette courbe ν_1 est naturellement plus élevée que la précédente pour l'obtention de laquelle nous inclinions l'enroulement induit de réaction suivant l'angle de calage déterminé [1].

Nous avons trouvé $\nu_1 = 7,1$ pour 85 ampères dans l'induit alors que $\nu = 2$ à circuit ouvert.

g. *Courbe des angles de calage* (fig. 16). — L'angle de calage calculé, dans les limites du fonctionnement de la dynamo, varie à peu près proportionnellement au courant.

Nous verrons bientôt que les angles de 14 et 50° C pour 15 et 60 ampères efficaces ne paraissent pas exagérés. Nous avons levé expérimentalement des chiffres analogues.

h. *Courbe des forces électromotrices périodiques à circuits ouverts déterminées en 1895*

[1] Voir nos articles, t. III, p. 385, et t. V, p. 434 et 538.

[1] Voir les articles déjà cités pour de plus amples détails et pour la variation du coefficient ν dans l'hypothèse où l'induit serait saturé.

(fig. 17). — La courbe D représente le flux de force dans les différentes spires de l'induit à circuits ouverts. Nous l'avons obtenue par la méthode balistique en enroulant une spire

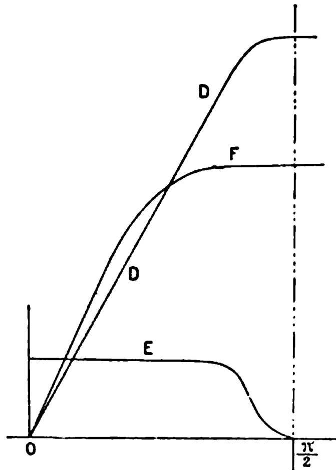


Fig. 17. — Courbes des flux et des forces électromotrices dans les spires de l'induit.

autour de la section de l'anneau, en la plaçant successivement dans toutes les directions par rapport à la ligne des pôles, étant toujours reliée au galvanomètre, et en renversant chaque fois le courant inducteur. La dérivée de cette courbe est évidemment la courbe des forces élelectromotrices dans une spire de l'induit: c'est la ligne E obtenue par le tracé inverse de celui des courbes intégrales.

Si nous portons les ordonnées de cette

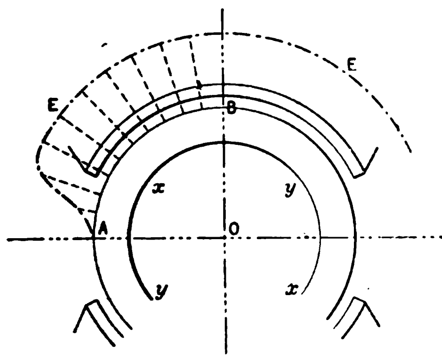


Fig. 18. — Courbes des valeurs du champ dans l'entrefer.

courbe suivant des rayons à la périphérie de l'induit (fig. 18) et si nous faisons tourner d'un quart de tour un des enroulements à courants alternatifs, en additionnant les ordonnées de la courbe E comprises dans le quadrant de cet enroulement et pour chaque position de ce dernier, nous obtenons la courbe F qui donne l'allure de la courbe des forces électromotrices dans l'armature à circuit ouvert. C'est, à chaque instant, la somme des forces électromotrices créées dans les différentes spires d'un cadre induit.

En déterminant une courbe dont les ordonnées sont proportionnelles aux carrés des ordonnées de F, en surfaçant et déterminant les ordonnées moyennes, on arrive aux résultats suivants qui ne sont exactement applicables qu'à circuits ouverts.

$\frac{E_{moy}}{E_{max}} = 0,735$. Même valeur pour fonctions sinusoïdales : 0,637

$\frac{E_{eff}}{E_{max}} = 0,758$. Même valeur pour fonctions sinusoïdales : 0,707.

$\frac{E_{moy}}{E_{eff}} = 0,97$. Même valeur pour fonctions sinusoïdales : 0,901.

i. *Courbes des forces électromotrices périodiques à circuits ouverts et à circuits fermés.* — Nous avons déterminé depuis 1895, par la méthode de Joubert décrite à propos de la génératrice tétrapolaire précédente et dont nous avons montré une partie du dispositif à la figure 10, des courbes assez complètes qui ont l'avantage d'avoir été reprises directement sans transformation ou calcul. Les résultats sont consignées sur la figure 19.

N° 1. *Courbe des forces électromotrices périodiques à circuit ouvert* pour 15 ampères d'excitation, 2000 tours par minute et 86 volts efficaces aux bornes.

Nous avons représenté sur la même figure les largeurs relatives des pôles, des entrepôles et des bobines. Elles expliquent parfaitement l'allure de la courbe si l'on admet que le champ est presque uniforme vis-à-vis des pôles.

Tant que l'axe d'une bobine est entre deux pôles, de *a* à *b* par exemple, le flux coupé

par les fils est sensiblement croissant régulièrement suivant les ordonnées d'une droite. De *b* à *v*, la variation du flux est moins régulière et moins forte à cause du voisinage des becs polaires. De *v* à *y*, le flux coupé est constant parce que la bobine est ouverte par le pôle nord et la force électromotrice est invariable.

Si l'on remarque que les courbes n° 1 de la figure 19 et F de la figure 17 ne sont pas dessinées à la même échelle, on voit qu'elles sont comparables. La première est cependant la plus exacte parce qu'elle est déterminée directement sur la dynamo en régime normal.

N° 2. *Courbe des forces électromotrices périodiques à circuits induits fermés* pour

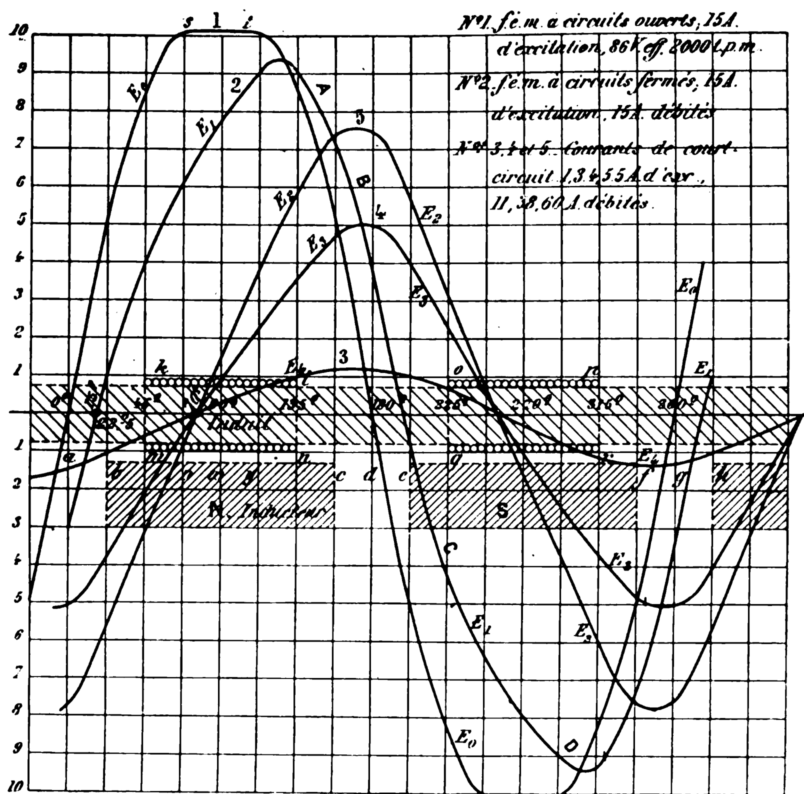


Fig. 19. — Courbes des forces électromotrices.

15 ampères d'excitation, 2 000 tours par minute et 15 ampères de débit dans chaque circuit à courants diphasés.

On remarque d'abord que le maximum de force électromotrice ne correspond plus à beaucoup près au milieu de la demi-période. Ensuite, que la région horizontale *st* du n° 1 a disparu parce que le champ n'est plus constant dans les entrefers.

Enfin, la ligne ABCD est formée de trois parties AB, BC et CD d'inclinaison différente et correspondant à l'entrefer à droite du maximum A, à l'entre-pôles et à l'entrefer à gauche du maximum. On comprend que ces trois portions du champ ne sont pas identiques et que dans chacune d'elles la variation du flux tend à se régulariser.

La déformation de la courbe des *f. é. m* à circuits fermés va évidemment en augmentant jusqu'à un certain débit, et, en marche normale, pour 30 ampères environ, elle est certes plus forte que l'indique le tracé n° 2.

N°s 3, 4 et 5. *Courbes des courants ou des*

forces électromotrices de court-circuit pour des excitations de 1, 3.4, 5.5 ampères et des débits de 11, 38 et 60 ampères. Pour lever ces diagrammes, les deux circuits induits sont fermés sur eux-mêmes avec un ampèremètre intercalé et la *f. é. m.* est mesurée aux bornes de la dynamo. L'excitation y étant très faible, la réaction d'induit pour un courant donné, exerce un effet bien plus grand qu'en marche normale sur circuits extérieurs. Aussi, le décalage qui est de 50° pour 60 ampères en marche normale, a été trouvé égal à 76°. Les courbes sont, par contre, bien régulières, parce que la réaction d'induit prédomine. Ces dernières courbes n'ont évidemment d'intérêt qu'en ce qu'elles donnent des indications intéressantes sur un fonctionnement spécial (en court-circuit) qui intéresse actuellement les constructeurs, et sur les effets limites de la réaction d'induit.

Le décalage est presque invariable pour les trois régimes examinés, parce que les courants d'excitation et d'induit augmentent en même temps et par conséquent aussi leur force magnétomotrice.

j. *Courants de court-circuits à excitation croissante.*— La courbe obtenue porte le n° 2 sur la figure 15. On voit que les courants croissent très rapidement avec l'excitation.

Pour 10 ampères d'excitation, ils sont de 87 ampères efficaces.

k. *Résistances apparentes des circuits induits en court-circuit.* — Le quotient des ordonnées des lignes 1 et 2 donne ces courbes. La première (n° 3) est à l'échelle des n°s 1 et 2; la deuxième (n° 4) utilise pour abscisses les courants débités.

On voit qu'en court-circuit, la résistance apparente des bobines induites est assez variable.

l. *Coefficients de self-induction des circuits de l'induit en court-circuit.* — Courbe n° 5 (fig. 15). Les valeurs de L_s sont obtenues en appliquant la formule déjà utilisée antérieurement :

$$L_s = \sqrt{\frac{R_{app.}^2 - R_a^2}{\omega^2}}.$$

Elles donnent une courbe de même allure que celle des résistances apparentes à une échelle des ordonnées différente indiquée sur la figure.

m. *Forces électromotrices de self-induction.* — Courbe n° 11 (fig. 15). En admettant que les coefficients de self-induction déterminés en court-circuit peuvent servir en marche normale à la prédétermination des caractéristiques, on peut tracer la courbe n° 11 des *f. é. m.* de self-induction $\omega L_s I$ qui accuse un coude arrondi entre 30 et 60 ampères efficaces.

n. *Caractéristiques totales et externes calculées.* — Courbes n°s 7 et 8 (fig. 15). En se servant des courbes 1 et 11 et des formules connues et déjà utilisées antérieurement :

$$E_t = \sqrt{E_0^2 - (\omega L_s I)^2},$$
$$E_b = E_t - R_a I,$$

on calcule aisément les caractéristiques.

Nous connaissions la caractéristique externe levée en 1895 sur résistances extérieures sans self (fig. 16). Nous l'avons redessinée sur la figure 15, courbe 9, pour la comparer au n° 8. On voit qu'ici, comme le font prévoir les levés de la figure 19, la réaction d'induit, et par conséquent sa self-induction, n'ont pas même valeur en court-circuit qu'en marche normale.

La différence, relativement importante ici, s'explique par la facile saturation de l'inducteur, la grande perméabilité de l'induit, la faiblesse de l'entrefer et la haute valeur des ampères-tours des enroulements d'induit.

Contrairement à ce qu'on pourrait croire, le levé des caractéristiques à circuit ouvert et en court-circuit n'est donc pas toujours suffisant pour prévoir le fonctionnement en marche normale et l'est d'autant moins que la self-induction de l'induit est plus forte.

La couree 9 croise la courbe 8 probablement par un effet d'augmentation de résistance de l'induit due à l'énorme débit correspondant aux derniers points de la caractéristique.

o. *Coefficients de self-induction de l'induit en marche normale*, pour 15 ampères d'excitation. Courbe n° 6 (fig. 15). — Les courbes de *f. é. m.* levées à circuits ouverts et à circuits fermés (1 et 9) et les relations :

$$E_t = E'_b + R_a I,$$

$$L'_s = \sqrt{\frac{E_0^2 - E_t^2}{\omega^2 I^2}},$$

permettent le calcul des coefficients L'_s en marche normale. Le résultat est traduit graphiquement par la courbe 6.

On voit d'abord qu'ils sont plus faibles qu'en court-circuit, ensuite qu'ils varient peu. Ce dernier résultat est dû au peu de variabilité de l'état magnétique des différentes parties de la dynamo dont les unes sont presque saturées et les autres dans un régime de perméabilité assez stable.

p. *Courbe de la puissance utile*, n° 10, fig. 15. — La chute rapide de la caractéristique externe amène la présence d'un maximum de puissance pour un courant relativement faible, de 55 ampères efficaces.

Si nous avions pu pousser notre examen plus loin et déterminer le maximum du rendement, nous l'aurions trouvé pour un courant encore plus faible.

(*A suivre.*)

S. HANAPPE.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Interrupteur universel.

Cet ingénieux appareil, construit par la maison A. Guénée et Cie, permet d'allumer et d'éteindre les lampes d'un circuit, de plusieurs points, sans se servir du même interrupteur, et tout simplement en tournant dans un sens ou dans l'autre le bouton de l'appareil.

Chaque interrupteur comporte cinq plots A, B, C, D, E (fig. 1), dont deux C et E sont reliés l'un à l'autre, et quatre lames de contact F, G, H, K, deux à deux en communication. Tous les appareils sont embrochés et quatre fils aboutissent à chacun d'eux, sauf toutefois pour les appareils extrêmes, auxquels trois fils seulement sont attachés et dont un plot est inutile.

Cet interrupteur est très commode pour l'éclairage d'un escalier, en permettant d'allumer les lampes en entrant dans le vestibule et de les éteindre au moment d'entrer dans son appartement, ou inversement. La figure permet de se rendre compte facilement de son fonctionnement dans ce cas.

On voit en effet que pour les positions indiquées des interrupteurs, le courant suivrait le chemin indiqué par les flèches ponctuées, si le circuit n'était rompu par l'interrupteur du troisième étage; l'escalier est donc plongé dans l'obscurité. Si l'on vient à tourner de droite à gauche le bouton de l'interrupteur du vestibule (le seul sens dans lequel les goupilles d'arrêt figurées par un point lui permettent de tourner) le courant passe du plot A au plot D, suit le chemin indiqué par les flèches en trait plein, arrive au plot B du dernier interrupteur, puis passe au plot D et enfin dans les lampes. Arrivé à l'un quelconque des étages, au premier étage par exemple, il suffit de tourner l'interrupteur correspondant dans le sens que lui permettent les goupilles pour faire passer le courant dans le circuit aboutissant au plot isolé C de l'interrupteur du troisième étage et par conséquent éteindre les lampes. On

voit tout aussi facilement que le fonctionnement d'un quelconque des interrupteurs aura pour effet de rétablir la communication

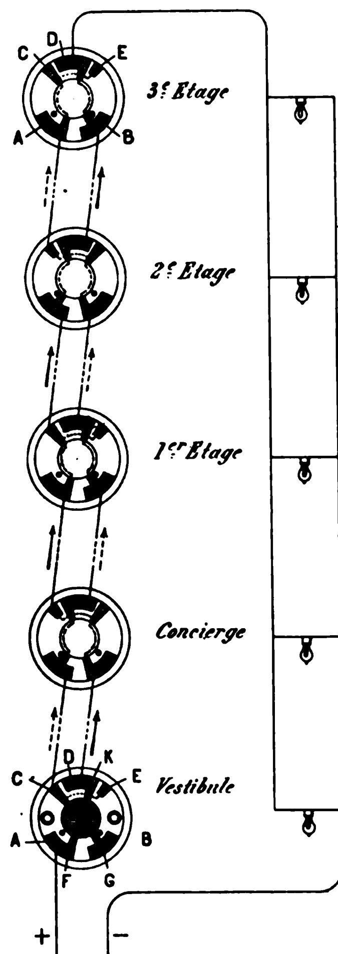


Fig. 1. — Montage des interrupteurs universels pour l'éclairage d'un escalier.

entre le plot A de l'interrupteur du vestibule et le plot D de l'interrupteur du troisième étage.

Ajoutons que dans le cas où le nombre des lampes est considérable et où, par suite, l'intensité du courant est grande, on évite les inconvénients pouvant résulter du passage d'un courant intense dans les interrupteurs en se servant seulement de ceux-ci pour actionner un relais qui ouvre et ferme le circuit des lampes.

Fer à repasser R. Wieczorek chauffé à l'arc électrique [1].

Ce fer, dont les figures 1 et 2 représentent les coupes longitudinale et transversale, est chauffé par l'arc qui s'établit entre la pointe d'un crayon de charbon K' et la paroi in-

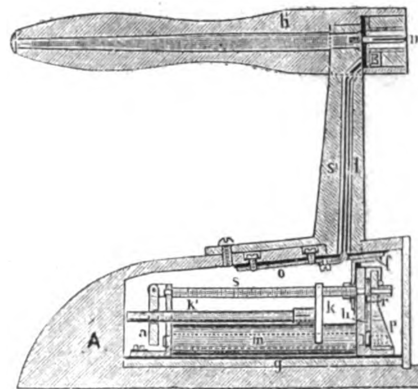


Fig. 1. — Fer à repasser électrique Wieczroek. Coupe longitudinale.

terne A du fer. Le mécanisme de régulation est des plus simples et facile à saisir. Il se

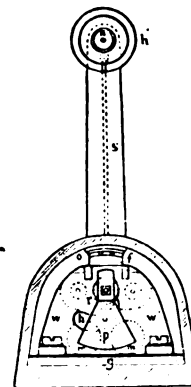


Fig. 2. — Fer Wieczorek. Coupe transversale.

compose de deux solénoïdes *mm* à noyaux de fer doux fixés entre les deux équerres dont les prolongements portent les coussinets de la vis d'avancement S. Cette vis est terminée près de la pointe du crayon par un guide *a* qui dirige ce dernier; l'autre extrémité porte une roue à rochet *r* à cliquet *h* et un pen-

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift*, nº 26, 1er juillet 1897.

dule en fer P monté fou sur l'axe de S. Le charbon K′ est maintenu par la douille K qu'entraîne S par son mouvement de rotation.

Le circuit est établi par la masse du fer l'arc, les solénoïdes, la lame W′ qui relie ces derniers à la borne isolée du fer. le conducteur S' logé dans le canal I de la poignée et le contact D qui reçoit la douille de prise de courant.

Quand aucun courant ne passe dans le circuit dont l'arc qui doit s'établir forme une des parties, les solénoïdes étant inactifs P peut osciller sur son axe dès qu'on pousse le fer pour repasser; dans son mouvement de va et vient de celui-ci, P fait tourner S dans un seul sens grâce au cliquet *h*, et par suite avancer K et K′. Quand l'arc est établi, le courant traverse les solénoïdes qui, par l'attraction de leurs noyaux, immobilisent le pendule P. Ce dernier est libéré quand l'arc se rompt et rapproche de nouveau K′ par le mouvement que l'ouvrier lui communique en repassant. L. D.

Lampes à incandescence à haute tension.

Notre confrère *The Electrician* a fait dernièrement une enquête sur l'état présent de la fabrication des lampes à incandescence dites à haute tension, c'est-à-dire fonctionnant sous 200 volts environ. Il résulte de cette enquête que la fabrication a fait des progrès notables.

Les principaux types de lampes pour ce voltage possèdent deux filaments, mais ce n'est là sans doute qu'une disposition transitoire adoptée en raison de la difficulté que l'on éprouve d'empêcher les filaments très longs de venir en contact avec le globe quand ils sont portés à l'incandescence. On a abandonné le mode de suspension à l'aide d'un crochet scellé dans l'ampoule; le contact du fil métallique avec le filament a été reconnu nuisible; de plus, ce fil peut casser pendant le transport et mettre une partie du filament en court-circuit.

Ce n'est pas seulement le poids du filament qui le rapproche de l'ampoule quand il est dans la position horizontale, il y a aussi une attraction électrostatique assez notable. Le remède serait d'augmenter les dimensions de l'ampoule, mais même alors les fabricants recommandent de ne pas employer autrement que dans la position verticale les lampes à deux ou trois spires d'une intensité lumineuse inférieure à 25 bougies.

La Compagnie des lampes à incandescence de Zurich fabrique la lampe représentée par la figure 1. Le filament sinueux a l'avantage de présenter une grande longueur dans un petit espace, et sa forme lui donne une grande rigidité. Toutes les lampes des figures 1 a 9 étant réprésentées à la même échelle, on voit que la lampe (fig. 1) est de plus petites dimensions que la lampe ordinaire Ediswan de 100 volts (fig. 9).

Pour les doubles filaments des lampes Stearn (8 et 16 bougies, fig. 3), la Compagnie de Zurich a adopté la forme en M plus rigide que les simples boucles. Mais la compagnie à l'intention de remplacer ces lampes par le type à filament sinueux. L'inconvénient des deux filaments, c'est qu'ils peuvent s'embrouiller pendant le transport.

La figure 5 montre une forme de la lampe Robertson à double filament, mais cette forme est destinée à être remplacée par celle figure 4. En plaçant les filaments face à face en deux plans parallèles, au lieu de les mettre côte à côte dans le même plan, M. Robertson trouve qu'on peut employer une ampoule plus petite; de plus, la lumière est distribuée plus uniformément. Les lampes de 8 et 16 bougies ne sont pas plus grandes que le type ordinaire à 100 volts. La lampe Sunbeam se fait également avec deux filaments parallèles, mais l'ampoule est plus grande. Dans la lampe Edison-Swan, les filaments sont dans le même plan; pour 8 bougies l'ampoule est de la grandeur habituelle; (fig. 7) mais pour 16 bougies (fig. 8) elle est de la grandeur des lampes 32 b, 100 volts.

La Compagnie Sunbeam fait aussi pour

les hautes tensions une lampe de 16 bougies avec filament à trois spires. L'ampoule est de la même dimension que celle de sa lampe à double filament. Le filament simple est naturellement moins coûteux que le filament double, mais on ne peut le placer que dans la position verticale.

En ce qui concerne les prix, les fabricants semblent considérer la lampe à grand voltage comme un moyen d'améliorer les bas prix résultant de la concurrence allemande. La lampe de 100 volts paraît avoir atteint un prix si bas qu'il est presque impossible de faire une bonne lampe avec un bon bénéfice.

Les fabricants recommandent à présent des dépenses spécifiques de 3,5 watts à 4 watts par bougie. MM. Stearn et Robertson affirment que la relation entre la durée et le rendement est la même pour les lampes à haut et à bas voltage. La Compagnie Edison-Swan dit que la dépense spécifique de ses lampes à grand voltage varie entre 4 et 2,75 watts par bougie suivant l'intensité lumineuse, les grandes intensités étant plus avantageuses que les petites.

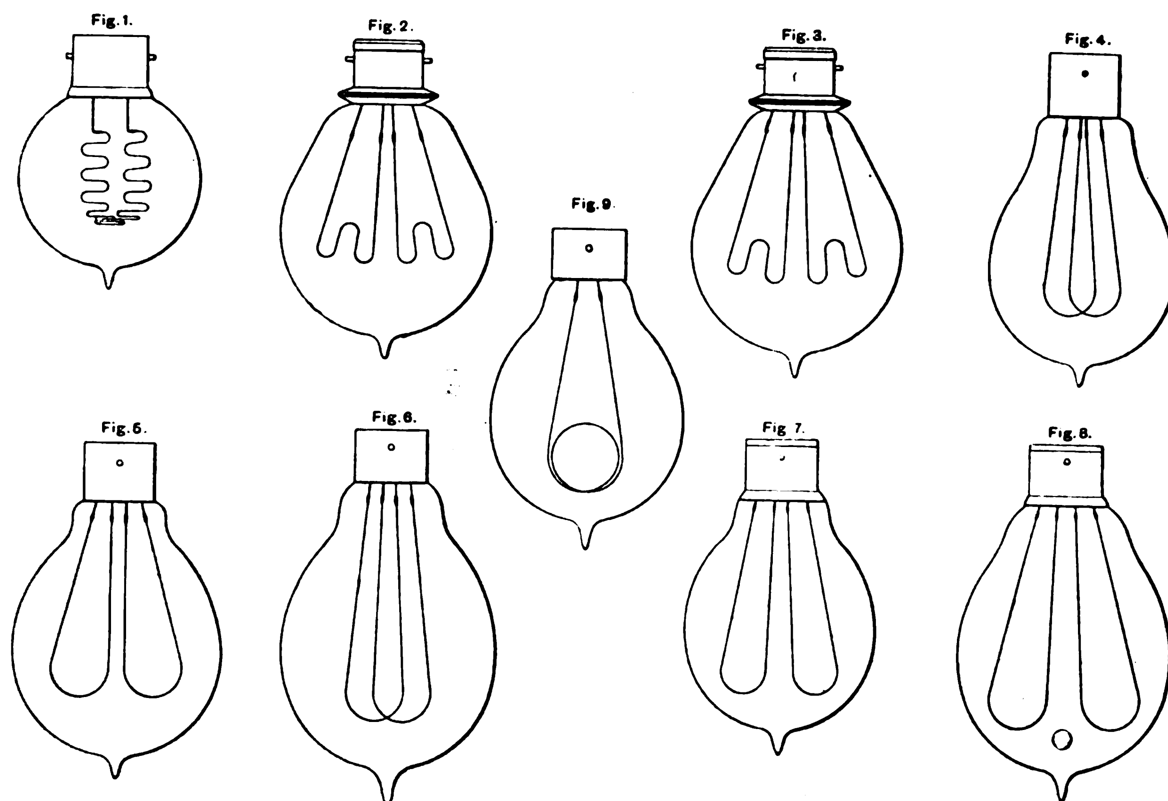


Fig. 1 à 9. — Types de lampes à incandescence à haute tension.

Notre confrère a eu la curiosité de mesurer les résistances à froid des différentes lampes. Voici les valeurs obtenues :

	VALEURS MARQUÉES		Résistance à froid.
	Volts.	Bougies.	Ohms.
A1	220	16	1660
A2	220	16	1470
A3	220	8	2940
B1	200	16	730
B2	200	8	2180
C1	220	16	958
D1	230	16	1210
D2	230	8	2200

A. H.

Sur l'emploi des accumulateurs dans les stations centrales de tramways électriques;

Par Ludwig SCHRŒDER [1].

Ligne de Zurich-Hirslanden. — Cette ligne a été inaugurée en 1894; sa longueur est un peu inférieure à 5 km; son profil est très irrégulier, et comprend notamment une rampe de 6,5 p. 100, sur une longueur de 125 m. Les voitures, au nombre de 16, sont de petit modèle; elles ont 14 places d'intérieur et 6 sur chacune des 2 plates-formes; leur poids est d'environ 5,5 tonnes à vide; chacune d'elles est munie d'un seul moteur de 20 chevaux construit par les ateliers d'Oerlikon. L'usine génératrice comprend 2 chaudières, dont la surface de chauffe est de 58 m² et qui fournissent la vapeur à la pression de 10 kg : cm²; 2 moteurs compound verticaux d'Oerlikon, d'une puissance de 100 chevaux au frein et tournant à raison de 240 tours par minute et entrainant par courroies chacun une génératrice shunt de 60 kilowatts à 550 volts.

La batterie d'accumulateurs installée à l'origine comprenait 300 éléments Tudor d'une capacité de 240 ampères-heures au régime de 21 ampères; l'intensité du courant de décharge peut être doublée pendant de courtes périodes sans inconvénients; chaque élément est formé de 6 plaques positives et de 7 plaques négatives.

Une partie de la batterie était formée d'éléments de réduction qu'un régulateur automatique mettait en circuit ou retirait; une petite dynamo auxiliaire de 3 kilowatts à 150 volts était employée pour la charge des éléments de réduction.

On ne tarda pas à reconnaître qu'on pouvait supprimer complètement les éléments de réduction, et à partir du mois de février 1896 on adopta le mode de montage représenté par la figure 1 qui est des plus simples.

La batterie est simplement montée en dérivation; elle se compose de 270 éléments. Ce montage a donné pleine satisfaction; son seul inconvénient, c'est que la lumière des

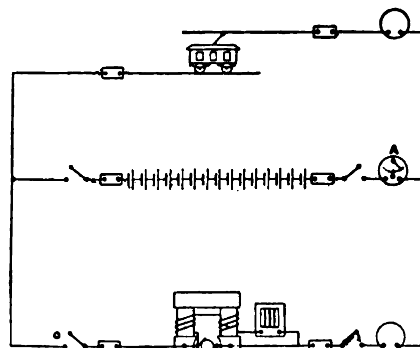


Fig. 1. — Montage de la « batterie tampon » des tramways de Zurich.

lampes à incandescence sur les voitures est moins fixe qu'auparavant. Un ampèremètre et un voltmètre sont montés sur chaque branche du circuit afin d'évaluer le service effectué par chaque partie du matériel; pour simplifier le dessin les voltmètres n'ont pas été représentés. Les résultats obtenus par cette disposition sont rendus évidents par les courbes de la figure 2 qui représentent : la courbe *a b*

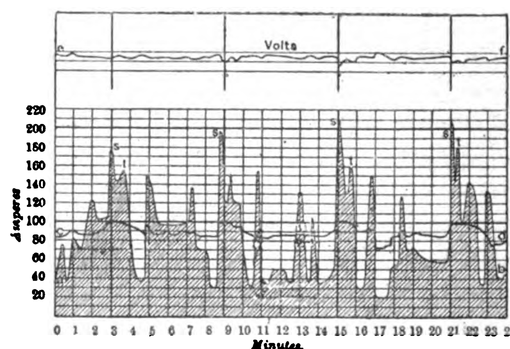


Fig. 2. — Courbes de débit de l'usine et des génératrices à Zurich.

l'intensité du courant fourni aux lignes à chaque instant, la courbe *c d* l'intensité du courant fourni par les dynamos, et la courbe *e f* la pression correspondante sur les feeders. Tandis que le courant dépensé sur les lignes varie de 20 à 210 ampères, avec une valeur moyenne de 90 ampères, le courant fourni par les dynamos ne varie qu'entre 72 et 102

[1] Communication faite à l'*Elektrotechnischer Verein.*

ampères ; encore ces valeurs extrêmes sont-elles rarement atteintes ; le débit des génératrices ne varie guère en général qu'entre 85 et 90 ampères. De même, le voltage ne varie qu'entre 535 et 560 volts au maximum.

Le rôle de la batterie est celui d'un amortisseur ; c'est pourquoi on peut appeler cette disposition, « une batterie-tampon ».

Pour bien se rendre compte de son action au point de vue de la régularisation du voltage, quelques explications sont nécessaires. Si l'on charge une batterie avec un courant d'intensité donnée, la force électromotrice aux bornes de l'élément augmentera d'abord brusquement d'une certaine valeur *a b* (fig. 3), qui

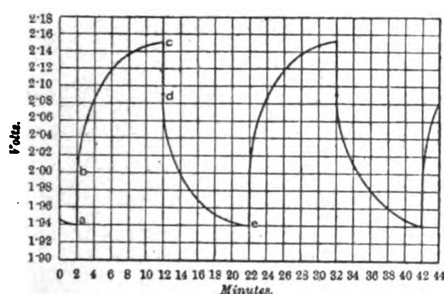


Fig. 3. — Schéma explicatif du rôle de la batterie comme régulateur de tension.

dépend de la résistance intérieure de cet élément ; elle augmentera ensuite lentement, comme le représente la courbe *b c*, jusqu'à ce qu'elle ait atteint en *c* sa valeur maxima ; à partir de ce moment, tant que le courant ne changera pas de sens, cette valeur restera constante. Si on décharge alors cette batterie avec un courant de même intensité, la force électromotrice suit une marche inverse : elle baisse brusquement d'une valeur $cd = ab$, puis ensuite diminue lentement. Dans une batterie employée pour le service des tramways, comme le courant change de sens constamment, la partie *b c*, etc., son inverse *d e* sont excessivement réduites; à peu près seules les variations *a b* et *c d* entrent en ligne de compte. Pour obtenir une bonne régulation, il faut donc employer une batterie ayant une résistance aussi faible que possible.

Au point de vue économique, les résultats ont été non moins satisfaisants : cette batterie est en service continu depuis deux ans et demi et depuis près d'un an les éléments de réduction ont été supprimés ; elle ne montre aucune trace d'usure et donne encore pleine satisfaction.

La consommation de charbon par voiture-kilomètre est descendue à 1 kg, ce qui est une très faible valeur étant donné surtout que la ligne présente de fortes rampes et que le nombre de voitures en service est très réduit.

Ligne de Brockenzell-Tettnang. — Cette installation diffère sensiblement de la précédente en raison de la nature du trafic ; de plus, la batterie fut installée pour permettre d'augmenter le trafic sans installer de nouveaux groupes générateurs.

La batterie se compose de 318 éléments Tudor, divisés en 3 batteries de 106 éléments chacune ; elle fournit un courant normal de 30 ampères, mais des intensités momentanées de 160 ampères peuvent être atteintes. L'intensité du courant de charge peut atteindre 72 ampères.

La figure 4 représente le mode de montage

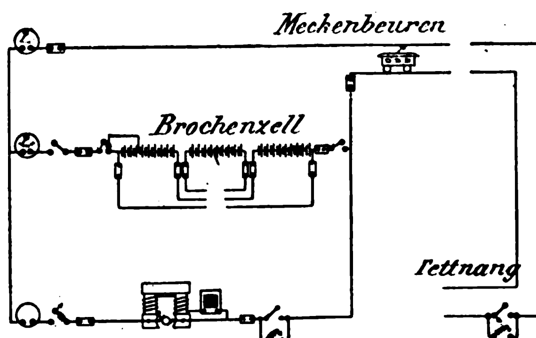


Fig. 4. — Schéma du montage. — Tramways de Brockenzell-Tettnang.

des batteries ; il est, en principe, le même que le précédent, mais différentes modifications de détail y ont été apportées pour les raisons suivantes : la génératrice ne peut fournir une différence de potentiel supérieure à 700 volts, ce qui est insuffisant pour charger

complètement les 318 éléments ; dans le courant de la journée, tous ceux-ci sont montés en tension et mis en service simultanément, en sorte que la tension aux bornes de chacun d'eux ne peut dépasser 2,2 volts; le matin ou le soir, lorsque le trafic est complètement arrêté, on les charge à refus et pour cela, au moyen des commutateurs *a*, on met une des batteries hors circuit ; chacune des 3 batteries est ainsi coupée à intervalles de temps réguliers pendant que les deux autres sont en circuit afin que tous les éléments soient également chargés. En outre, comme, en cas d'accident à l'usine hydraulique de Brockenzell, le service peut être assuré par une usine auxiliaire, munie de moteurs à vapeur et située à l'autre extrémité de la ligne, on a disposé un commutateur *b* qui met 25 éléments hors circuit, dans ce cas, afin de permettre l'emploi des accumulateurs en dépit de la chute de potentiel en ligne.

Les résultats obtenus ont été très satisfaisants, comme on peut s'en rendre compte à l'inspection des courbes ci-jointes (fig. 5, 6

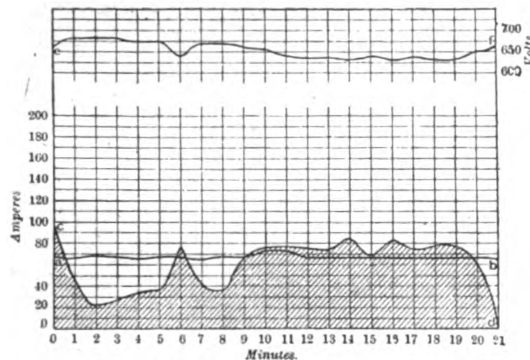


Fig. 5.

et 7). La première se rapporte à la consommation de courant pendant la marche d'un train de bois pesant 46 tonnes et allant de Meckenbeuren à Tettnang ; les batteries sont reliées en dérivation avec la dynamo; l'intensité du courant fourni par celle-ci est à peu près constante (ligne *ab*), tandis que le courant fourni aux lignes (ligne *cd*) varie dans de grandes limites ; les variations de potentiel sont aussi très réduites : de 620 à 680 volts, tandis qu'avant l'installation de la batterie, elles oscillaient entre moins de 300 volts et plus de 800 volts; elles sont cependant plus importantes qu'à Zurich parce que les batteries, au lieu de se charger et de

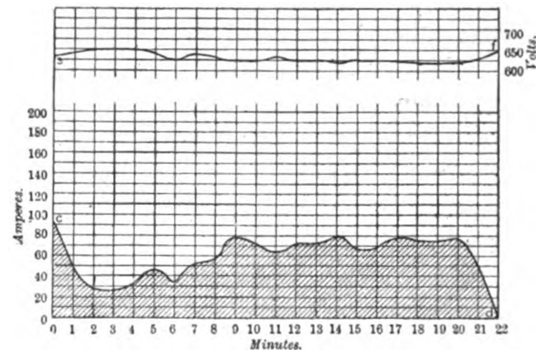


Fig. 6.

se décharger alternativement pendant de très courtes durées, fournissent du courant ou en absorbent pendant des périodes de 5 ou 10 minutes, en sorte que les lignes *bc* et *de* (fig. 3) prennent plus d'importance.

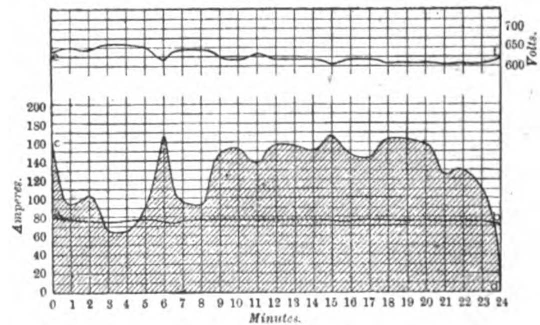


Fig. 7.

Avant l'installation des accumulateurs, il était impossible de mettre en marche plus d'un seul train lourd sur cette ligne, tandis qu'à présent on peut en mettre plusieurs sans difficulté; les courbes de la figure 7 ont été obtenues lorsque deux trains pesant respectivement 45 et 48 tonnes remontaient les rampes. Les variations de potentiel ne se sont produites qu'entre 605 et 655 volts.

Les courbes de la figure 6 ont été obtenues lorsque la ligne était alimentée par les batteries seulement ; comme il fallait s'y attendre,

le voltage est beaucoup plus constant que dans les cas précédents, puisque les éléments ne sont pas alternativement chargés et déchargés.

Ligne de Remscheid. — Cette ligne, établie en 1892, à une longueur totale de 11 km; son profil est très accidenté, car sur la longueur totale, 55 m seulement sont en palier; elle présente des rampes très longues et très fortes; une d'elles atteint 10,6 p. 100. Les voitures sont a 16 places d'intérieur et 12 de plates-formes; en semaine il y a 8 voitures en service et le dimanche 12; seulement, en semaine, des moteurs sont alimentés dans plus de 40 usines voisines, en sorte que la charge est à la fois plus forte et plus régulière.

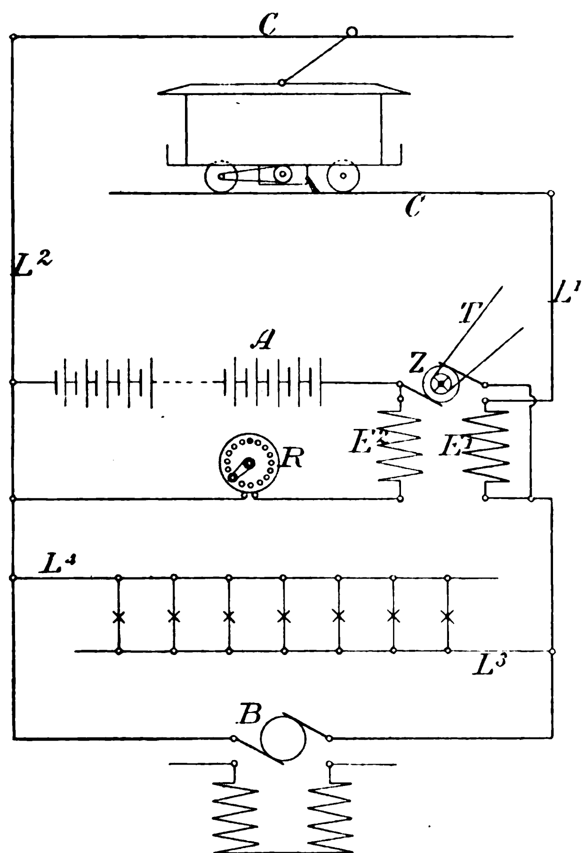


Fig. 8. — Compensateur de charge de Siemens et Halske.

L'usine comprend 3 chaudières Steinmüller ayant chacune une surface de chauffe de 120 m² et fournissant la vapeur à la pression de 8,5 kg : cm²; 4 moteurs Mac Intosh et Seymour, de 160 chevaux à 435 tours par minute; 4 génératrices de 100 kilowatts à 500 volts.

La nature accidentée du terrain occasionne des variations de charge continuelles très importantes; le débit varie à chaque instant en semaine entre 100 et 400 ampères, et le dimanche entre 0 et 450 ampères, en sorte qu'on devait continuellement garder 3 machines en marche. Cependant, la valeur moyenne du débit n'était que de 232 ampères en semaine et de 135 ampères le dimanche; ce dernier service aurait pu être assuré par une seule machine.

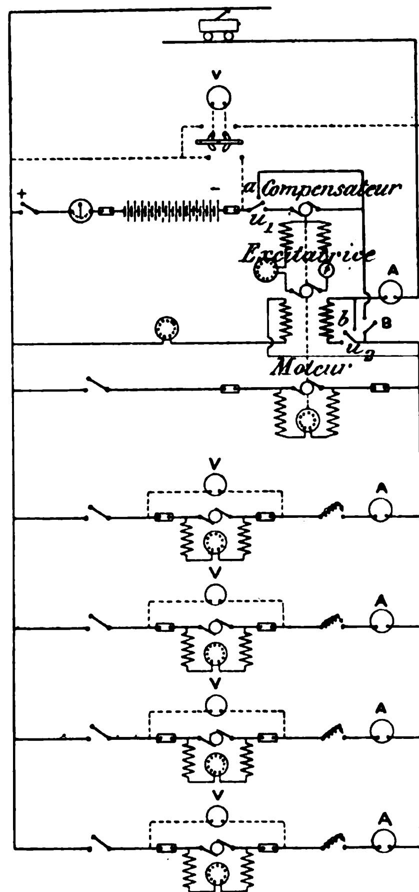


Fig. 9. — Schéma du montage à Remscheid avec compensateur de charge.

Le trafic augmentant, ainsi que le nombre de moteurs installés, il devenait nécessaire d'installer un nouveau groupe ou d'utiliser la

machine de réserve ; on préféra installer une batterie d'accumulateurs ; les résultats ainsi obtenus ont été excellents puisqu'ils ont permis d'assurer le service avec une machine le

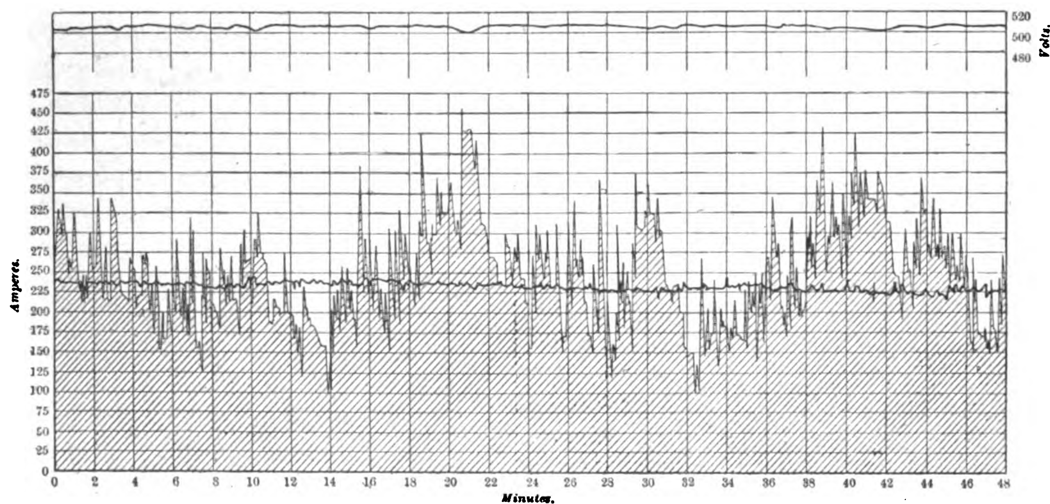


Fig. 10.

dimanche et deux pendant la semaine et que le prix de la batterie n'atteint pas la moitié de celui de la machine ainsi rendue disponible pour tout accroissement ultérieur.

La batterie se compose de 250 éléments Tudor, d'une capacité de 648 ampères-heure avec un courant de décharge de 216 ampères ; l'intensité maxima du courant de décharge peut atteindre 420 ampères.

Le mode de montage diffère profondément

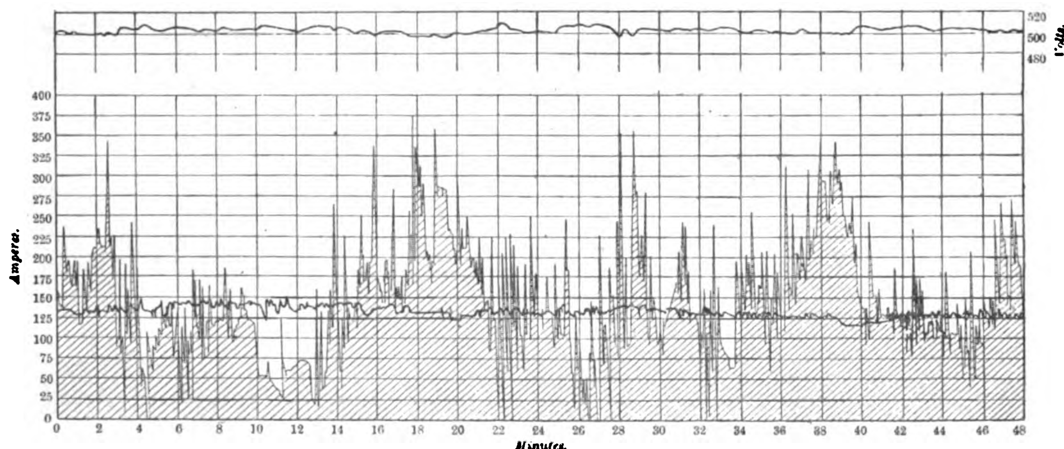


Fig. 11.

de ceux qui ont été adoptés dans les deux installations précédentes. Le système à compensateur de Siemens et Halske que nous avons décrit précédemment (¹) est employé. La figure 8 représente le principe qui a été clairement exposé dans l'article précité ; nous n'y reviendrons pas. A Remscheid, cependant, comme le compensateur est très puissant (600 ampères et 100 volts), au lieu de lui appliquer directement l'enroulement composite, on l'a muni d'une petite excitatrice séparée et c'est cette dernière qui est munie de cet enroulement ; un moteur électrique de 90 chevaux entraîne les deux machines qui sont

(¹) *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 158, 27 juillet 1895.

montées directement sur son arbre (fig. 9).

Le compensateur n'est employé que le soir, lorsque les lampes sont allumées, afin d'obtenir une plus grande fixité de la lumière; pour le service seul des moteurs, la batterie est simplement branchée en dérivation. Les variations de potentiel dans ces dernières conditions n'atteignent pas 15 volts. Des commutateurs u_1, u_2 et B permettent de mettre le compensateur hors circuit.

La figure 10 représente les variations de charge, en semaine, 8 voitures et les moteurs branchés étant en service. Le courant dépensé varie entre 100 et 460 ampères; le courant fourni par les génératrices ne varie qu'entre 210 et 255 ampères, avec une moyenne de 232 ampères. La moyenne du débit pendant la journée, par suite de l'arrêt des moteurs pendant l'heure des repas et le soir après 7 heures, n'est que de 205 ampères. Le compensateur était en circuit. Le voltage est très régulier.

La figure 11 a été obtenue le dimanche, avec huit voitures seulement en marche, sans moteurs branchés et le compensateur étant mis hors circuit. Dans l'après-midi du dimanche, avec douze voitures en service le débit varie entre 0 et 450 ampères avec une moyenne de 200 ampères.

On estime que l'économie de charbon réalisée depuis l'adoption des accumulateurs est de 11 tonnes environ par semaine. G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Nouveau type de bobine d'induction;

Par Elihu THOMSON [1].

Lorsqu'on veut actionner une bobine de Ruhmkorff par le courant à 110 ou 220 volts fourni par les stations centrales, on est obligé de placer en série avec la primaire une résistance, souvent assez élevée, pour réduire l'intensité du courant à une valeur convenable; il en résulte une perte d'énergie. C'est pour éviter cet inconvénient que M. E. Thomson a imaginé un nouveau type de bobine.

Il se compose d'un noyau de fer doux A (fig. 1) autour duquel se trouvent : une première bobine en gros fil B qui joue le rôle de la bobine primaire des appareils ordinaires, une autre bobine C à fil plus fin et enfin une troisième bobine D à fil fin et long. L'une des extrémités de la bobine C est reliée à la borne a de la distribution d'électricité; l'autre, par l'intermédiaire du fil c, au balai d frottant sur un commutateur tournant. Celui-ci porte deux bagues sur lesquelles frottent les deux balais h et f; sa périphérie est munie de deux secteurs métalliques g et e respectivement reliés aux deux bagues. Dans la position du commutateur indiquée sur la figure le courant suit le chemin a C c d e f b; en continuant à tourner, il interrompt le courant dans la bobine C et un courant induit, de faible force électromotrice mais de grande intensité, prend naissance dans la bobine à gros fil B dont les extrémités, reliées aux balais k et m d'un second commutateur G, sont à ce moment mises en court-circuit par le mou-

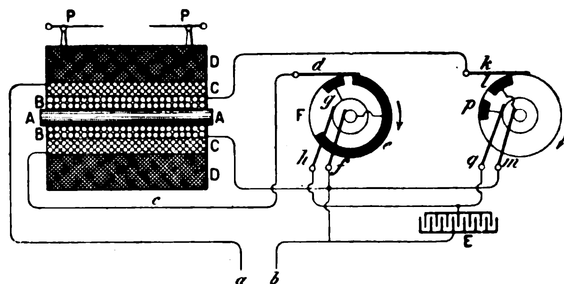


Fig. 1.— Nouveau type de bobine d'induction E. Thomson.

[1] *The Electrical Engineer* (New-York), t. XXIV, p. 77, 29 juillet 1897.

vement même de ce commutateur. Ce courant ne tarde pas à être rompu et il en résulte des courants induits de grande force électromotrice dans la bobine secondaire D dont les extrémités sont reliées aux pôles P P. Pour diminuer les étincelles de rupture des courants et rendre cette rupture plus rapide, on emploie un condensateur E dont une armature est reliée d'une manière permanente à la borne *b* du réseau de distribution et dont l'autre armature se trouve mise en communication aux moments opportuns avec les bobines C ou B au moyen des balais *h* et *q* des commutateurs tournants. Les mouvements de ceux-ci doivent être synchrones, ce que l'on obtient facilement en les montant sur un même axe.

L'appareil de M. E. Thomson est donc en réalité un double transformateur donnant, au moyen d'un courant à 110 ou 220 volts, d'abord un courant induit intense et de faible force électromotrice, puis, au moyen de ce dernier, un courant induit de grande force électromotrice.

Il peut évidemment fonctionner comme les bobines ordinaires au moyen d'une batterie de piles ou d'accumulateurs ; il suffit de placer celle-ci sur le circuit de la bobine B et de supprimer les communications de la bobine C avec *a* et le commutateur F devenu inutile. J. B.

Emploi des oscillations très rapides dans le réseau de Wheatstone ;

Par M. Nernst [1].

Dans les mesures de résistance et de constantes diélectriques qui portent sur les électrolytes, il y a intérêt à accroître la fréquence des courants alternatifs employés, afin de diminuer autant que possible l'influence de la polarisation. Dans ce but, Nernst utilise les oscillations rapides induites dans une bobine par la décharge d'un condensateur par un dispositif analogue à celui de Tesla. Comme indicateur des oscillations est intercalé sur le pont un micromètre à étincelles ou un tube vide. Le micromètre est formé par deux lames minces de platine, à bords tranchants et placés perpendiculairement l'une à l'autre : leur distance peut être réglée au moyen d'une vis à pas très fin. Les étincelles usent le bord des lames : mais il suffit de déplacer un peu le support pour mettre en face des points des deux bords encore inaltérés.

Parmi les différentes formes de tubes à vide, les plus sensibles sont ceux de Zehnder : ils sont même trop sensibles en ce sens qu'ils ne donnent pas de minimum net. Il est préférable de prendre de petits tubes à parois minces où on fait le vide jusqu'à ce que leur sensibilité soit suffisante.

L'appareil peut servir à mesurer la self-induction des bobines et la capacité des condensateurs employés. Les self-inductions sont comparées à celles d'un étalon de M. Wien, par l'intermédiaire d'une self-induction variable, formée par deux bobines qu'on peut déplacer l'une par rapport à l'autre. On obtient ainsi la comparaison de self-inductions qui sont entre elles dans le rapport de 1 : 100 environ, à quelques centièmes près, ce qui suffit dans le cas actuel.

Les capacités sont comparées à celles d'un condensateur à air, formé de deux disques circulaires, que maintiennent de petites cales de verre. Pour éliminer l'influence des traces de conductibilité, on met en dérivation sur le condensateur une résistance convenablement choisie, ce qui permet d'obtenir un minimum très net.

Il est avantageux, comme on le sait, que les quatre branches du pont soient à peu près identiques, comme self-induction, comme capacité et comme résistance. On vérifie que cette condition est suffisamment remplie, en mettant le bout d'un fil à l'extrémité de l'une des branches et approchant l'autre bout de la seconde extrémité de cette même branche ; les étincelles obtenues doivent être à peu près

[1] *Wied. Ann.*, t. LX, p. 600-624.

de la même longueur pour les quatre branches.

Il est souvent commode de transformer les courants utilisés, ce qu'on réalise facilement au moyen d'une série de solénoïdes en fil de cuivre de différentes grosseurs, qu'on peut enfiler les uns sur les autres. La longueur des étincelles indique si le rapport de transformation obtenu convient aux conditions de l'expérience.

Forme ordinaire du réseau. — La décharge du condensateur C (fig. 1) se produit au moment où l'étincelle de la bobine J éclate en f_1 :

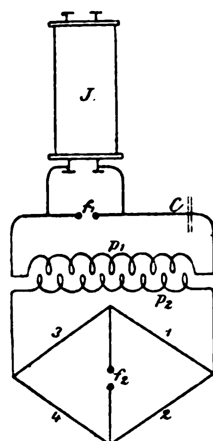


Fig. 1.

en passant dans la spirale p_1, elle induit dans la spirale p_2 les oscillations qui se propagent ensuite dans le réseau 1, 2, 3, 4. Les étincelles ne cessent en f_2 que si les branches 3 et 4 ont même résistance et même capacité.

Après divers tâtonnements, Nernst s'est arrêté aux dimensions suivantes. Le condensateur est formé d'une lame de verre, épaisse d'environ 0,7 mm et garnie de clinquant (270 cm²), ce qui correspond à une capacité de 2 430 cm. La bobine p_1 comprend 12 spires d'un fil de cuivre de 3 mm; sa self-induction est $1{,}63.10^3$; la bobine p_2 porte 32 spires d'un fil de 0,8 mm, enroulées sur un tube d'ébonite ayant 3,2 cm d'ouverture. Les branches 1 et 2 renferment des bouteilles de Leyde ou des lames de verre armées, dont la capacité varie entre 200 et 400 cm. Le pont est constitué par un transformateur dont la bobine intérieure (primaire) a 36 spires de fil de 2 mm, et possède une self-induction de 5.10^3; sur cette bobine est enfilé un tube de verre long de 12 cm, ayant un diamètre intérieur de 3,3 cm, sur lequel sont enroulées 150 spires d'un fil de 0,6 mm, dont les extrémités conduisent au micromètre à étincelles; la self-induction de cette bobine secondaire est $1{,}55.10^5$. Les branches 3 et 4 renferment les condensateurs de capacité variable, semblables à ceux de l'appareil primitif [1]: les lames de laiton ont 13,7 × 6,8 cm : la lame de verre est épaisse de 3,5 mm et la capacité peut varier entre 50 et 130 cm.

Le nombre des oscillations du circuit primaire, calculé par la formule :

$$n = \frac{v}{\pi\sqrt{CL}}$$

est d'environ 4,8 millions par seconde : celui du circuit secondaire 6 millions : ce dernier varie d'ailleurs avec la capacité des condensateurs 3 et 4.

La bobine qui sert dans la plupart des cas donne de 4 à 6 cm d'étincelle et est munie d'un interrupteur à marteau ou d'un interrupteur Deprez : quand les solutions étudiées conduisent relativement bien, il vaut mieux employer une bobine plus forte (20 cm d'étincelle).

Mesure des constantes diélectriques. — Pour déterminer la position de la lame de verre mobile qui correspond au minimum, il est commode de prendre la moyenne des positions pour laquelle les étincelles disparaissent.

Dans l'appareil construit comme il a été dit, l'eau, même relativement assez impure (conductibilité $= 2.10^{-9}$) se comporte comme un diélectrique parfait : les nombres trouvés sont les suivants :

Air.	Ether.	Alcool amylique.	Alcool éthylique.	Eau.
1	4,2	16,1	25,8	79,6

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 372; 23 mai 1896.

Lorsque les liquides possèdent une conductibilité notable, il est indispensable de mettre en dérivation sur l'autre condensateur une résistance de compensation; cette compensation est formée par un tube rempli d'acide sulfurique et renfermant deux électrodes, l'une scellée dans la paroi, l'autre mobile. Mais la présence de cette dérivation diminue la sensibilité et fait varier la self-induction, de sorte que les mesures deviennent peu sûres. Sous toute réserve, Nernst donne pour les solutions :

0,005 KCl $D = 1{,}03$ $K = 0{,}58\ 10^{-7}$
0,01 KCl $D = 1{,}05$ $K = 1{,}15\ 10^{-7}$
2/3 Mannite-acide borique $D = 0{,}98$ $K = 0{,}9\ 10^{-7}$

en posant $D = 1$ pour l'eau à 18°.

Ces résultats diffèrent de ceux de Drude [1] et de Smale [2].

Mesure de résistances. — Lorsque la solution conduit bien, c'est au contraire le minimum correspondant à la capacité qui disparaît devant le minimum correspondant à la résistance. Les expériences prouvent que la polarisation n'a pas d'influence appréciable, même quand les électrodes non platinées sont distantes de 8,5 mm seulement.

Il est à remarquer que la résistance des dissolutions est la même, aux erreurs d'expérience près, pour ces courants rapidement variables que pour les courants constants.

Excitateur différentiel. — On obtient un

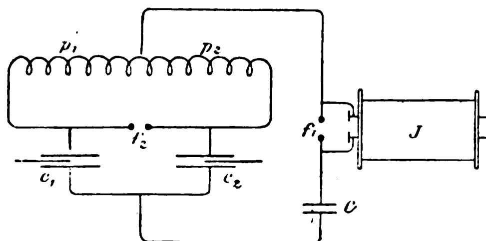


Fig. 2.

appareil plus simple en se servant d'un inducteur différentiel (fig. 2). Les solénoïdes p_1 et p_2 sont pareils et leur self-induction varie suivant les cas entre 5.10^3 et 5.10^5 ; c_1 et c_2 sont les condensateurs décrits précédemment : en f_2 se trouve l'indicateur de courants. Les conditions d'équilibre sont naturellement :

$$L_1 = L_2, \quad c_1 = c_2, \quad r_1 = r_2,$$

L désignant la self-induction, c la capacité des branches, r la résistance des dérivations qui peuvent se trouver à côté des condensateurs. Une petite bobine, donnant 1 à 2 cm d'étincelle, suffit aux expériences. L'emploi du tube vide comme indicateur est ici préférable à celui du micromètre à étincelles : le nombre des vibrations est d'environ 3.10^6 par seconde. D'après les mesures comparées effectuées avec cet appareil et l'appareil primitif, les erreurs de mesures ne dépassent pas 0,2 mm dans le déplacement des lames de verre du condensateur. La constante diélectrique du benzol a été aussi déterminée en valeur absolue : le nombre trouvé 2,318 coïncide presque exactement avec le nombre 2,310 donné par l'ancien appareil.

Quand la self-induction L_1 est d'environ 10^4, on peut faire les mesures sur les liquides dont la conductibilité ne dépasse pas $3{,}10^{-9}$ comme s'ils étaient rigoureusement isolants : mais cette limite s'abaisse naturellement en même temps que la rapidité des vibrations, lorsque la self-induction augmente. Dans ce dernier cas, on peut obtenir un bon minimum en employant des résistances de compensation.

En utilisant les propriétés de résonance électrique, il est possible d'augmenter la sensibilité, mais le minimum est moins net. On atteint ce résultat en intercalant entre les pôles du micromètre à étincelles un condensateur de capacité variable, qui forme avec la bobine secondaire du transformateur un système qui possède une période d'oscillation propre. L'avantage obtenu ne paraît pas, du reste, compenser la plus grande complication qui résulte de cette disposition.

Théorie de l'excitateur différentiel. — Les

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 559, 19 décembre 1896.
(2) *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 425, 30 mai 1896.

équations qui déterminent les courants dans les branches du réseau (i_1, L_1, r_1, c_1 *et* i_2, L_2, r_2, c_2) et dans le circuit principal (i, L, r) sont, comme on le sait :

$$i = i_1 + i_2$$

$$x = L\frac{di}{dt} + ir + L_1\frac{di_1}{dt} + i_1r_1 + \frac{1}{C_1}\int i_1 dt$$

$$x = L\frac{di}{dt} + ir + L_2\frac{di_2}{dt} + i_2r_2 + \frac{1}{c^2}\int i_2 dt$$

Supposons que la force électromotrice x, qui agit dans le circuit principal, soit une fonction sinusoïdale du temps : il en sera de même des intensités i, i_1, i_2 ;

$$i = a\sin mt, \quad i_1 = a_1\sin(mt + \varphi_1),$$
$$i_2 = a_2\sin(mt + \varphi_2).$$

Les conditions d'équilibre du pont sont :

$$\varphi_1 = \varphi_2, \quad L_1C_1 = L_2C_2. \qquad (2)$$

La force électromotrice x est aussi de la forme :

$$x = B\sin(mt + \varphi).$$

Pour trouver la période r d'oscillation propre au système, il faut chercher la valeur de m qui correspond aux conditions :

$$x = 0, \quad r = 0, \quad r_1 = 0, \quad r = 0,$$

c'est-à-dire quand le système excité une fois pour toutes, exécute des oscillations non amorties. On trouve alors :

$$\frac{1}{m} = \frac{\tau}{\pi}\sqrt{L(c_1 + e_2) + L_1c_1} = \sqrt{L(c_1 + c_2) + L_2c_2}$$

ou

$$\tau = \pi\sqrt{c_1\left(L_1 + L\frac{c_1 + c_2}{c_1}\right)}$$
$$= \pi\sqrt{c_2\left(L_2 + L\frac{c_1 + c_2}{c_2}\right)}.$$

L'excitateur différentiel peut donc être considéré comme formé de deux circuits en dérivation, dont la capacité et la self-induction seraient respectivement :

$$c_1 \text{ et } c_2. \quad L_1 + L\frac{c_1 + c_2}{c_2} \quad \text{et} \quad L_2 + L\frac{c_1 + c_2}{c_2}.$$

La résistance intervient seulement dans l'amortissement :

$$r\sqrt{\frac{c}{L}}.$$

La résistance des deux circuits est évidemment égale à

$$r_1 + r\frac{c_1 + c_2}{c_1} \quad \text{et} \quad r_2 + r\frac{c_1 + c_2}{c_2}$$

et l'amortissement doit être le même dans les deux si on veut que le minimum soit net. Il faut donc que

$$\left(r_1 + r\frac{c_1 + c_2}{c_1}\right)\sqrt{\frac{c_1}{L_1}} = \left(r_2 + r\frac{c_1 + c_2}{c_2}\right)\sqrt{\frac{c_2}{L_2}}$$

ou, d'après (1)

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{c_1}{c_2}.$$

Ces conditions sont les mêmes que pour le pont ordinaire.

Comme l'amortissement est très faible quand on emploie seulement de petites capacités et des solénoïdes de fil de cuivre, il n'influe pas d'une manière sensible sur le minimum. Aussi peut-on facilement, avec l'excitateur différentiel, comparer la self-induction de bobines, qui ne sont pas formées de plusieurs couches de fil ; dans ce dernier cas, la capacité parasite introduirait des perturbations. M. L.

Influence de l'excitateur sur la forme et l'intensité des oscillations électriques dans le système de Lecher;

Par R. Apt [1].

La forme et la longueur des conducteurs qui relient la bobine d'induction aux pôles de l'excitateur influent sur l'intensité des oscillations. Pour étudier systématiquement cette influence, l'auteur prend comme conducteurs deux fils parallèles rectilignes dont il diminue progressivement la longueur et il mesure chaque fois, par la méthode bolométrique,

---

[1] *Wied. Ann.*, t. LXI, p. 293-312.

l'intensité des oscillations : toutes les autres parties de l'appareil restent les mêmes. En réduisant ainsi la longueur des fils de communication de 370 cm à 0, on trouve deux maxima et deux minima de l'intensité : les valeurs extrêmes sont 290 et 25. Cette influence des fils est due aux oscillations propres du système qu'ils forment avec la bobine et l'étincelle de l'excitateur. La différence des longueurs qui correspondent à un maximum et au minimum suivant, est presque exactement égal au quart de la longueur d'onde mesurée sur les fils de Lecher. L'intensité des oscillations dans le circuit secondaire passe donc par un maximum, quand la longueur des fils de communication est égale à un multiple pair, par un minimum, si cette longueur est égale à un multiple impair du quart de la longueur d'onde.

Pour pouvoir faire varier à volonté la longueur des fils de communication, il est avantageux de disposer l'appareil symétriquement comme le représente la figure 1. Le micro-

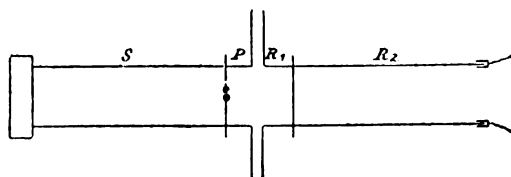


Fig. 1.

mètre à étincelles P peut être déplacé le long des fils, à partir des plaques primaires. Les fils sont alors partagés par ce micromètre en deux parties, l'une qui fait partie de l'excitateur, l'autre qui forme un second système vibrant. Chacun de ces deux systèmes possède une période propre et on fait varier à volonté le rapport de ces périodes en déplaçant le micromètre. A l'extrémité des fils de communication du côté de la bobine, doit se trouver un ventre de vibration, car l'enroulement secondaire à cause de sa grande self-induction offre une résistance énorme aux vibrations rapides : c'est, du reste, ce qu'on vérifie expérimentalement.

Soit P l'excitateur, S le système des fils de communication, R_1 le système des fils de Lecher jusqu'au pont, R_2 le système des fils depuis le pont jusqu'à leur extrémité libre. Les dimensions des différentes parties sont réglées de telle sorte que P est en résonance avec R_1 et R_2 et que la longueur de S est égale à celle de R_2. Si toute variation dans la longueur de S provoque une diminution dans l'intensité des oscillations de R_2, c'est que S_1 est en résonance avec R_2. A l'extrémité de S comme à celle de R_2 doit donc se trouver un ventre de vibration. D'après cela, on fera 3 séries d'expériences :

1° On déplace de quantités égales, en sens contraires, le micromètre et le pont ;

2° On déplace le pont et laisse le micromètre fixe ;

3° On déplace le micromètre et laisse le pont fixe.

Dans le premier cas, on observe neuf maxima correspondant aux positions du micromètre et du pont pour lesquelles les quatre systèmes définis ci-dessus sont en résonance.

Dans le deuxième cas, on ne fait autre chose que déterminer les nœuds du système Lecher.

Enfin dans la troisième série d'expériences, on observe encore une série de maxima, moins prononcés cependant que dans la deuxième : leur position correspond à la même longueur d'onde ; par conséquent, on peut aussi déterminer les longueurs d'onde en déplaçant le micromètre à étincelles.

La résistance du pont n'a d'ailleurs aucune influence sur la position des nœuds et très peu sur l'intensité, tant du moins qu'elle ne devient pas très considérable, ainsi qu'il résulte des expériences comparatives faites avec un fil de cuivre, un crayon de charbon et un tube plein d'acide sulfurique.

L'intensité des oscillations dans le système secondaire dépend aussi du mode d'observation. L'excitateur de Blondlot a une grande self-induction et une faible capacité : l'induction électrodynamique joue le principal rôle : comme la capacité est petite, les quantités d'électricité mises en jeu sont relativement

faibles; c'est l'inverse dans l'appareil de Lecher. L'excitateur de Blondlot est donc préférable quand on étudie les oscillations au moyen des étincelles secondaires ou des tubes à gaz raréfié. Au contraire, les effets observés sont plus intenses dans le système de Lecher, si on emploie les méthodes thermoélectrique, bolométrique ou électrométrique, qui mesurent l'effet intégral.

Les observations qui suivent se rapportent à un système de Lecher. Comme on le sait déjà, la nature de l'étincelle primaire joue, dans tous les cas, un rôle important. Lorsque la bobine fonctionne avec un interrupteur à marteau ordinaire, l'effet bolométrique est à peine le dixième de ce qu'on obtient avec l'interrupteur Deprez, lorsque l'étincelle éclate dans l'air; la différence est beaucoup moins grande, si l'étincelle éclate dans l'huile.

L'intensité de l'effet bolométrique est maxima pour une certaine longueur de l'étincelle primaire; la longueur de l'étincelle secondaire passe aussi par un maximum pour une certaine longueur de l'étincelle primaire différente de la précédente. L'effet bolométrique croît très rapidement et ensuite décroît lentement quand on fait croître la longueur de l'étincelle primaire à partir de o. Si on fait éclater l'étincelle dans l'air de plus en plus raréfié, l'effet bolométrique diminue; le maximum correspond à une étincelle plus longue; mais, du reste, cette longueur a moins d'influence que sous la pression atmosphérique. Dans l'air comprimé, la longueur de l'étincelle la plus favorable devient plus petite. Les variations de pression n'ont d'ailleurs aucune influence sur la répartition des nœuds dans le système secondaire.

Lorsque l'air est humide, l'intensité diminue : dans les gaz secs, autres que l'air, oxygène, hydrogène, gaz carbonique, les résultats sont les mêmes; dans le gaz d'éclairage seul, l'intensité correspondant aux courtes étincelles est un peu plus grande.

Il est beaucoup plus commode, comme on le sait, de faire éclater les étincelles primaires dans un diélectrique liquide. La nature du métal dont sont formés les pôles du micromètre est alors sans influence appréciable. Pour les mesures bolométriques, le mieux est de prendre des étincelles aussi courtes que possible. Au contraire, si on veut observer les étincelles secondaires, il faut prendre l'étincelle primaire aussi longue que possible. Toutes choses égales d'ailleurs, l'intensité est environ quatre fois plus grande quand l'étincelle éclate dans le pétrole au lieu d'éclater dans l'air. La position des nœuds n'est pas tout à fait la même dans les deux cas, au moins pour les nœuds les plus rapprochés de l'excitateur, mais ce déplacement n'a lieu que pour les étincelles courtes dans le pétrole et comme en observant les étincelles secondaires, on doit prendre des étincelles primaires longues, pour avoir une grande intensité, on ne remarque pas ces déplacements.

M. L.

VARIÉTÉ

Histoire chronologique de l'électricité [1]

1820. — AMPÈRE (André-Marie) vécut de 1775 à 1836 et fut l'un des philosophes les plus distingués de ce siècle. D'abord professeur d'analyse mathématique à l'École polytechnique, puis professeur de physique au Collège de France, il lit, devant l'Académie royale, les 18 et 25 septembre, 9 et 13 octobre, et 6 novembre 1820, d'importants mémoires contenant un exposé complet des

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 423, 28 août 1897.

phénomènes de l'*électrodynamique*. Ces mémoires furent rassemblés plus tard dans son *Recueil d'observations*... (Paris, 1822) et reçurent de nouveaux développements en 1824 et 1826, dans son ouvrage intitulé : *Théorie des phénomènes électrodynamiques*.

La nouvelle de la découverte d'Œrsted, qui fut reçue en juillet 1820, excita vivement la curiosité des physiciens de tous pays. Des recherches furent entreprises par Ampère, Arago, Biot, Savart, en France, et par Berzélius, Davy, De la Rive, Cumming, Faraday, Joseph Henry, Schweigger, Seebeck, Sturgeon, Nobili et d'autres. De tous ces savants, Ampère fut celui qui s'occupa le plus activement de la question, aussi son zèle fut récompensé par l'honneur d'avoir publié le premier mémoire sur le sujet. L'Académie en reçut la communication le 18 septembre 1820, c'est-à-dire trois mois seulement après l'annonce de la découverte de l'électromagnétisme.

Dans ce premier mémoire, Ampère expose la loi déterminant la direction de l'aiguille aimantée par rapport au courant et donne pour faciliter la compréhension, sa règle si simple que l'on rencontre dans tous les traités élémentaires d'électricité de nos jours. Il décrit des expériences qu'il se proposait de faire avec des fils enroulés en hélice et prédit très justement que ces hélices doivent avoir les propriétés des aimants pendant le passage du courant électrique. Dans ce mémoire, il expose aussi sa théorie de l'aimant basée sur l'hypothèse de l'existence de courants circulant autour des molécules de l'acier.

Comme on le pense, cette découverte fit une nouvelle sensation dans le monde savant. Arago ne put s'empêcher de s'écrier : « Qu'auraient pensé Newton, Halley, Dufay, Epinus, Franklin et Coulomb, si on leur avait prédit qu'un jour viendrait où le navigateur pourrait régler la direction de son navire sans la boussole et à l'aide seulement de courants électriques ? »

« Le vaste champ des sciences physiques, poursuit Arago, n'a peut-être jamais présenté une découverte aussi brillante, conçue, vérifiée et complétée aussi promptement. »

Ampère fut aussi l'auteur d'une belle et compréhensible généralisation qui, loin de renfermer seulement les phénomènes présentés par les combinaisons d'Œrsted, mit également en lumière des forces existant dans des dispositions déjà familières, mais qui ne purent être décelées qu'à la faveur de la nouvelle théorie.

Sa théorie de l'électrodynamique a été jugée digne en ce qui concerne la logique de sa démonstration, de prendre place à côté des *Principia* de Newton ; elle lui valut le titre de Newton de l'électrodynamique [1].

Les expériences d'Œrsted et d'Ampère furent reproduites et étendues par de nombreux savants, parmi lesquels nous citerons Yelin, Brockman, Van Beck, De la Rive, Moll, Nobili, Barlow et Cumming. C'est à ce dernier qu'on attribue la priorité de la découverte de l'amplification des effets du courant sur l'aiguille aimantée en augmentant le nombre des circonvolutions du fil autour d'elle. Il construisit le premier galvanomètre astatique [2]. Un mathématicien allemand, Julius Konrard Yelin (1771-1826), établit plus tard que l'électricité d'une machine ordinaire, en traversant une hélice de fil, produit aussi des effets d'aimantation [3].

Dans son second mémoire, du 25 septembre [4], Ampère fait connaitre le résultat de ses expériences sur les attractions et répulsions mutuelles des courants électriques. Il montre que deux courants parallèles de même sens s'attirent, et qu'ils se repoussent quand ils sont de sens opposés. Il établit ainsi la seconde loi fondamentale de l'électrodynamique. Il propose également, dans ce mémoire, l'hypothèse de courants électriques

---

(1) A.-M. Mayer et W.-B. Rogers. *Memorial of J. Henry*, p. 81 et 476; 1880. — Lardner's *Lectures*, t. II, p. 120. — Fahie. *Hist. of Elect. Tel*, p. 276.

(2) *Trans. Camb. Soc.*, t. I, p. 279.

(3) Poggendorff, t. II, p. 1382. — Gilbert's *Annalen*, 1820-1823.

(4) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XV, p. 59, 170.

circulant de l'est à l'ouest autour du globe dans des plans perpendiculaires à la direction de l'aiguille aimantée, pour rendre compte des phénomènes du magnétisme terrestre (1).

Dans son troisième mémoire, du 3 octobre, il étudie les propriétés des courants transmis à travers des fils formant des courbes fermées ou des figures géométriques.

De nombreux mémoires suivirent et occupèrent presque toutes les séances de l'Académie, depuis le 4 décembre 1820 jusqu'au 15 janvier 1821 ; tous contiennent les confirmations des théories émises et soumettent les phénomènes de l'électromagnétisme à l'analyse mathématique (2).

C'est Ampère qui inventa l'aiguille astatique (3) et c'est lui aussi qui proposa d'appliquer la découverte d'Œrsted à la télégraphie en substituant la déviation de l'aiguille aimantée sous l'action de courants électriques à la répulsion des balles de sureau de l'électroscope (4). Ce système ne put jamais entrer en pratique en raison du grand nombre de fils qu'il exigeait. Mais, comme le dit un historien, Sabine, si Ampère avait pu combiner ses idées avec celles de Laplace et celles de Schweigger, le télégraphe serait en usage depuis 1820. Ampère ne parle pas d'entourer l'aiguille de bobines de fils, comme on l'a si souvent dit. Il ne pouvait connaître le mémoire de Schweigger qui, quoique lu à Halle le 16 septembre 1820, ne fut publié qu'au mois de novembre suivant (5).

1820. — ARAGO (Dominique-François-Jean), célèbre astronome, physicien et homme d'État français (1786-1853) qui, à l'âge de vingt-trois ans, avait succédé à Lalande à l'Académie des Sciences et à Monge dans la chaire d'analyse mathématique à l'École polytechnique, et qui, avec Gay-Lussac, avait fondé en 1816 les *Annales de Chimie et de Physique*, communique à l'Institut, le 25 septembre 1820, sa découverte de l'aimantation du fer et de l'acier par le courant électrique. Il construisit une bobine de fils dans l'axe de laquelle il plaça une aiguille. En reliant les extrémités de la bobine aux pôles d'une batterie, il montra que le courant n'agit pas seulement sur des corps déjà aimantés, mais peut aussi développer l'aimantation sur des corps neutres. En employant du fer doux, le magnétisme communiqué n'était que temporaire, et en répétant les expériences sous une forme modifiée, Arago réussit à aimanter d'une façon permanente des aiguilles d'acier.

Le mémoire d'Arago sur ce sujet parut dans les *Annales de Chimie et de Physique* (1), et l'on dit qu'à la même époque, le Dr See-

---

(1) ROGET. *Elect. Magn.*, p. 47.

(2) TILLOCH'S. *Journal of Science*, t. LVII, p. 47; 1821.

(3) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XVIII, p. 320. — FAHIE. *History of Electricity*, p. 220, 281.

(4) *Comptes rendus;* 1820. — *Annales de Chimie et de Physique*, t. XV, p. 72.

(5) *La Lumière Électrique*, t. XLI, p. 202, et t. XLII, p. 148. — FAHIE. *Hist. of Elect. Tel.*, p. 303. — *Catalogue of Sc. Papers Roy. Soc.*, t. I, p. 58, 61. — *Revue des Deux-Mondes*, 15 fév. 1837. — LITTRÉ. *Notices sur les travaux d'Ampère;* Paris, 1843. — ARAGO. *Éloge d'Ampère.* — *Report Smiths. Instit.*, p. 100, 107; 1857. — *Sci. Am. Supplement*, n° 674, p. 10760. — POGGENDORFF, t. I, p. 39, 40. — BARLOW. *Attractions magnétiques.* — *Comptes rendus*, t. VII, p. 81; 1838. — *Bibliothèque Univ.*, t. XX. — *Phil. Mag.*, t. LVI, p. 308; t. LVII, p. 40-47. — HATCHETT. *On the Electromagnetics experiments of Œrsted and Ampère*, p. 47, 49. — *Annales de Phys. de Bruxelles*, t. VII. — *Annales de Chim. et de Physique*, t. XXIX. — DU MONCEL, t. III, p. 7. — *Acad. de Paris*, 12 sept. 1825. — *Zeitchr. f. Mathem.*, article Roch. — ROGET. *Sur la théorie magnétique d'Ampère.* — POGGENDORFF. *Annalen*, t. XXXIV, p. 481. — J. MARSH. *Phil. Mag.*, t. LIX, p. 433; 1822. — HENN. *De Ampère principiis*..... — W. RITCHIE. *Phil. Mag.* ou *Annals*, t. VII, p. 212; 1830. — *Mem. of J. Henry*, p 59, 81; 1880. — *Elect. Mag.*, p. 24, 28, 83, 92. — HARRIS. *Rud. Elect.*, p. 170, et *Rud. Mag.*, p. 130. — NOAD'S *Manual*, p. 661, 682, 861, 864. — *Encycl. Métrop.*, t. IV, p. 5-8. — HIGHTON. *Elect. Tel.*, p. 39. — GMELIN'S *Chemistry*, t. I, p. 317. — SOMERVILLE. *Conn. Phys. Sci.*, p. 320; 1846; LARDNER'S *Lectures*, t. II, p. 125. — J.-F.-W. HERSCHELL. *Prelim. Dis. Nat. Phil.*, p. 243; 1855. — WHEWELL. *Hist. Induct. Sci.*, t. II, p. 242, 246, 619; 1859. — *Ann. of Sci. Disc.*, p. 129; 1850, et p. 125; 1865. — *Smiths. Report*, p. 273; 1873. — STURGEON. *Bury*, p. 12, 16, 19; 1850. — *Journ. of Frank. Inst.*, t. XXII, p. 59; 1851. — TURNBULL. *El. Mag. Tel.*, p. 55 et 221; 1853. — VAIL'S. *History*, p. 153. — HENRY'S. *Evid*, p. 31. — *Cosmos*, 1822. — *Journal de Physique*, sept. 1820.

(1) *Ann. de Ch. et de Phys.* t. XV, p. 93.

beck présenta des résultats semblables à l'Académie de Berlin et que sir Humphrey Davy fit la même découverte, dont il avisa le Dr Wollaston, le 12 novembre 1820. Il a déjà été question de ce fait dans le paragraphe 1801 [1], où nous avons dit que l'expérience de Davy consiste à faire attirer de la limaille de fer par le fil conducteur. C'est de ce même phénomène qu'était parti Arago ; voyant que les limailles étaient soulevées avant de toucher le fil, il conclut que chaque particule de fer était convertie en un petit aimant, c'est ce qui le conduisit à la découverte de l'induction magnétique [2].

Un fait digne de remarque, à propos des expériences d'Arago et d'Ampère, est que pour éviter les dérivations latérales du courant dans la bobine, le fil était isolé d'abord par une couche de vernis, plus tard par un enroulement de soie ou de coton [3].

Le 22 novembre 1824, Arago annonça à l'Académie des Sciences sa remarquable découverte des actions magnétiques obtenues par la rotation de corps conducteurs. Il observa que les oscillations d'une aiguille aimantée voisine d'un corps conducteur tel que l'eau ou une plaque métallique diminuaient rapidement d'amplitude, comme si l'aiguille se mouvait dans un milieu résistant; il remarqua aussi que le nombre d'oscillations dans un même laps de temps était toujours le même [4].

Il fit alors tourner un disque de cuivre au-dessous d'une aiguille aimantée, librement suspendue, et trouva que celle-ci tendait à suivre le disque dans sa rotation, et qu'en augmentant la vitesse de rotation, la déviation de l'aiguille augmente. En décrivant ce phénomène, Arago indique qu'il se produit avec toutes sortes de substances solides,

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 324.

(2) *Phil. Trans.*, p. 9; 1821. — TILLOCH'S *Journal of Sci.*, t. LVII, p. 42; 1821. — *Eighth Britannia*, t. VIII, p. 532; t. XIV, p. 640. — THOMAS THOMSON. *Outlines of the Sciences*, p. 563.

(3) J.-C. BAKEWELL. *Elect. Sci.*, p. 37; Londres, 1853.

(4) HUMBOLDT'S *Cosmos* (*Magn. Obs.*); 1825.

liquides et même avec des gaz, mais que l'intensité dépend de la nature des corps.

Ses expériences furent répétées le 7 mars 1825 à l'Académie royale de Londres et lui valurent de cette dernière la médaille de Coppley [1], récompense digne de ses belles recherches.

L'action des corps non métalliques fut niée par les savants italiens, entre autres par Nobili, mais fut affirmée à nouveau dans les notes qu'Arago présenta à l'Académie en juillet 1826.

Poisson ayant affirmé [2] dans son mémoire *Sur la théorie du magnétisme en mouvement* que Coulomb avait reconnu les propriétés magnétiques dans tous les corps, indépendamment du fer qu'ils peuvent contenir, dut, par suite, constater que son assertion était fausse et que les phénomènes qu'avait découverts Arago étaient d'une nature toute différente de celle des phénomènes observés par Coulomb.

Arago fit aussi d'importants travaux sur le magnétisme terrestre et l'astronomie [3]. Dans un mémoire présenté à l'Académie, il a révélé la *polarisation chromatique*, ce qui a fait dire à Humboldt que la découverte des deux sortes de polarisation de la lumière peut être considérée comme la plus brillante de ce siècle [4].

En 1818, Arago fut élu membre de la Société royale de Londres, de la Royal Astronomical Society, et nommé membre du Bureau des Longitudes. En 1822, il devint secrétaire perpétuel de l'Académie, et, huit ans plus tard, directeur de l'Observatoire de Paris.

C'est sur la demande instante d'Arago que fut commencée la publication, dans l'*An-*

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XXXIII. — *Phyl. mag.*, p. 467; 1825.

(2) POISSON. *A. D.* 1811.

(3) *Œuvres complètes de François Arago*, t. IV, p. 498.

(4) DELAMBRE. *Histoire de l'Astronomie*, p. 652. — HUMBOLDT'S. *Cosmos*, t. I, p. 33; t. II, p. 715.

nuaire du Bureau des Longitudes, des intéressantes notices scientifiques dont il l'enrichit jusqu'à sa mort. C'est également à Arago qu'on doit la publication hebdomadaire des *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (¹).

P.-F. MOTTELAY.

BIBLIOGRAPHIE

Électrométallurgie : Voie humide et voie sèche, phénomènes électrothermiques, par A. MINET. — Un volume de l'Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire, *Gauthier-Villars et fils* et *Masson et Cie, éditeurs*.

L'électrochimie est déjà une science trop vaste pour que ses principes et ses applications puissent être convenablement exposés dans un seul volume de l'Encyclopédie Léauté ; aussi M. Minet se propose-t-il de lui en consacrer quatre, traitant respectivement des théories de l'électrolyse, de la production électrolytique des composés chimiques, de l'électrométallurgie par voie sèche et voie humide et enfin des fours électriques et de leurs applications. Toutefois, pour des raisons d'actualité, dit l'auteur, ce n'est pas dans cet ordre qu'aura lieu leur publication et c'est en effet le troisième de ces volumes qui nous est donné à lire en premier.

Cette transposition offre un léger inconvénient: l'obligation de faire précéder l'exposé de l'électrométallurgie des notions théoriques indispensables à sa compréhension, notions qui eussent été mieux à leur place dans le volume consacré aux théories de l'électrolyse. Il est vrai que cet inconvénient est compensé par l'avantage de réunir en un même volume les principes de leurs applications, et que, dans le cas présent, M. Minet a réussi à condenser ceux-là en un petit nombre de pages et, par suite, sans trop empiéter sur l'espace réclamé par l'objet principal de l'ouvrage.

A la suite de cette introduction, qui se termine par quelques aperçus sur l'application des forces naturelles à l'électrométallurgie, l'auteur aborde l'étude de l'électrométallurgie par voie humide. Le cuivre tient naturellement la plus grande place ; la galvanoplastie, le cuivrage des métaux, l'affinage du cuivre, le traitement des minerais et des mattes sont successivement examinés. Les autres métaux sont l'objet d'une notice plus ou moins courte, suivant l'importance des applications électriques par voie humide auxquelles ils donnent lieu.

L'électrométallurgie par voie sèche débute par l'étude de la métallurgie de l'aluminium dans laquelle l'auteur s'est acquis une notoriété qui lui a valu, tout récemment, une médaille d'or de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale Aussi M. Minet consacre-t-il à ce sujet une cinquantaine de pages, soit le quart de l'ouvrage. Les renseignements qu'il y donne, fruits de nombreuses expériences personnelles, sont certes intéressants ; il nous semble néanmoins qu'ils l'eussent été beaucoup plus si l'auteur, fort bien renseigné cependant, avait été moins avare d'indications sur la conduite industrielle des fours à aluminium.

La métallurgie du magnésium, des métaux alcalins et alcalino-terreux, et du zinc, la fusion des métaux et la réduction des oxydes au four électrique, la fabrication du carborundum, etc., complètent ce volume.

En terminant, nous signalerons à l'auteur, dans l'espoir qu'il tiendra compte de cette observation dans les ouvrages ultérieures, la fâcheuse confusion que nous avons eu l'occasion de constater en plusieurs endroits, aussi bien dans cet ouvrage que dans celui qu'il a antérieurement consacré à l'aluminium, entre l'unité d'énergie et l'unité de puissance, ainsi que le manque de précision des formules exprimant les valeurs concrètes de l'énergie

(¹) POGGENDORFF, t. I, p. 53-54. — JOHNSON'S *New Univ. Cycl.*, t. I, p. 202; 1877. — J.-A. BARRAL. *Œuvres de F. Arago*; 1854-55. — FARIA. *De Arago Breve Compendia.....*; Lisbonne, 1800. — ARAGO. *Not. Sci.*, dans le *Catal. Sci. Pap. Roy. Soc.*, t. I, p. 83-84; *Encycl. Métrop.*, t. IV, p. 6. — J.-F.-W. HERSCHELL, *Nat. Phil.*, p. 117, 244; 1855. — *Phil. Trans.*: 1825. — Expériences d'Arago sur le magnétisme rotatoire : WHEWELL, *Hist. Induct. Sci.*, t. II, p. 22, 1859; *Phil. Mag.*, t. LIX, p. 233; t. LVII, p. 40-49; t. LVIII, p. 50; t. LXI, p. 131. — *Lib. Usef. Knowl.* (*Magnetism*), p. 91. — NOAD'S *Manual*, p. 204, 534. — *Ann. of Sci. Disc.*, p. 124; 1850. — *Comptes rendus*, t. II, p. 212; 1836. — *La Lumière Électrique*, t. XLI, p. 202.

et de la puissance. C'est d'ailleurs la seule critique que nous ayons à faire à cet ouvrage qui donne un aperçu complet et rigoureux de l'état actuel de l'électrométallurgie et rendra ainsi service à l'électricité en faisant mieux connaître une de ses nouvelles et importantes applications.

J. Blondin.

L'Éclairage Électrique : Traité pratique de montage et de conduite des installations d'éclairage électrique, par François Miron, 3 vol. in-8° de 488-495 et 657 pages, avec 230 figures, 420 figures et 16 planches, 229 figures et 23 planches. Paris, 1896. *J. Fritsch*, éditeur. Prix, 28 fr., cartonné.

L'industrie de l'éclairage électrique exige des ingénieurs qui s'y consacrent des connaissances variées; ils doivent être non seulement bons électriciens, mais encore bons mécaniciens et bons administrateurs. L'absence d'une de ces qualités peut être la source de déboires importants; aussi le nombre d'ouvrages écrits sur chacun de ces points spéciaux pour servir de guides aux ingénieurs est-il très élevé. M. François Miron a cherché à réunir dans un seul ouvrage tous les documents relatifs à cette question complexe; et grâce au développement de son travail, qui comprend près de 1700 pages et plus de 900 figures, il a pu traiter chaque point particulier avec d'amples détails. Son but était d'exposer « l'étude des éléments constitutifs d'une installation, la nomenclature, la description et le mode d'emploi des articles d'appareillage indispensables à tout montage et enfin, à côté de descriptions d'installations en service, les règlements administratifs qui régissent les installations intérieures, la pose des canalisations sur la voie publique et des renseignements sur le prix de revient du kilowatt-heure.....; de fournir à l'ingénieur, d'une part, les éléments d'étude d'une installation privée ou urbaine, et au moteur, d'autre part, la connaissance des divers types d'articles d'appareillage et de leur emploi ».

Pour réaliser ce programme, l'auteur a réuni force figures et diagrammes et une quantité de chiffres; il a donné de nombreux schémas de montage, de marches de courant dans les appareils et les tableaux de distribution, établi des devis détaillés relatifs aux installations principales, exposé les causes d'accidents et leurs remèdes, reproduit les cahiers des charges, les règlements administratifs et les polices d'abonnement, décrit les différents types d'appareils et de canalisations, ainsi que les principales usines d'éclairage électrique publiques ou privées de France ou de l'étranger, publié de nombreuses statistiques sur les frais de premier établissement et les dépenses d'exploitation de plusieurs de ces usines.

L'ensemble de ces documents représente une somme de travail considérable et l'on est heureux de les trouver réunis dans un même ouvrage.

Ce que nous reprocherons principalement à ce traité, c'est le manque d'équilibre dans la façon dont les sujets sont exposés; certains appareils ou certains points sont très longuement développés tandis que d'autres non moins importants sont complètement laissés dans l'ombre. Ainsi, on cherche en vain des données sur les différents types de machines à vapeur à simple, double ou triple expansion et sur leur économie comparée; l'influence de la marche à faible charge sur les dépenses dans les usines est laissée dans l'ombre; dans les descriptions de dynamos, il n'est pas question des caractéristiques; dans la partie consacrée à l'exploitation, il n'est pas dit un mot de la question pourtant si importante des tarifs de vente, etc. Ce sont des défauts qui ne nuiront pas au succès de l'ouvrage et auxquels il sera facile de remédier dans une seconde édition.

G. Pellissier.

Traité complet d'électro-traction, par Ernest Gérard, ingénieur en chef au service de la traction et du matériel des chemins de fer de l'État belge. — Un vol. in-4° de VIII-640 pages, avec 567 figures dans le texte. — Bruxelles, 1897. *P. Weissenbruch*, éditeur. Prix : 25 fr broché.

La situation officielle de l'auteur le mettait mieux que tout autre à même d'écrire un ouvrage de ce genre ; en disant qu'il a su en tirer pleinement parti, nous ferons le meilleur éloge qu'il soit possible de son travail. Non seulement les documents qu'il renferme sont des plus complets, mais encore un grand nombre d'entre eux sont absolument originaux. Ils se distinguent par leur portée essentiellement pratique qui feront de ce Traité un guide précieux pour tous ceux qui s'occupent de traction électrique.

C'est ainsi que dans la partie relative aux moteurs, non seulement les dimensions des différentes pièces sont données, mais encore les détails les

plus complets sur l'enroulement des inducteurs et des armatures sont publiés avec les dimensions des fils, la valeur de l'induction, etc. ; dans la partie relative aux différents systèmes de distribution, les systèmes sont décrits dans leur principe et dans des applications choisies ; les inconvénients pour le public et la voirie y sont ajoutés, avec les remèdes éventuels ; en outre, les chiffres relatifs au rendement des appareils, à leur durée, à leur entretien, aux dépenses de premier établissement et aux frais d'exploitation y sont répandus à profusion et toujours soigneusement vérifiés et classés ; les lignes auxquelles ils se rapportent sont décrites et leur profil est donné. On reconnaît dans l'ensemble de ce travail les qualités de l'ingénieur qui a étudié les applications réalisées dans le but de les appliquer à son tour en toute connaissance de cause.

Si maintenant nous passons à l'examen détaillé de l'ouvrage, une chose frappe tout d'abord : ce n'est pas un traité dans le sens didactique du mot, mais bien plutôt un ouvrage descriptif; c'est du reste à ce titre d'ouvrage documentaire que l'auteur le présente. Il prend successivement chacun des organes relatifs à la voiture et à la transmission et en décrit les types différents, qui ont été employés depuis l'origine jusqu'aux modèles les plus récents.

Le premier chapitre est consacré à la description des moteurs et de leurs organes de régulation. Tous les modèles y sont représentés ; le classement adopté est basé sur le mode de transmission du mouvement : double réduction de vitesse par engrenages, simple réduction par engrenages, transmissions par engrenages coniques, par chaîne, par vis, transmissions diverses, transmission sans réduction de vitesse. Dans cette dernière partie, nous avons été étonné de ne point voir figurer le système de M. Raffard, qui est pourtant le premier proposé et a servi de modèle à beaucoup de ses successeurs, notamment en Amérique où le brevet a dû être acheté par une puissante compagnie de ce pays. Viennent ensuite l'étude des moteurs triphasés et celle des organes de réglage ou contrôleurs, puis des données expérimentales et commerciales relatives aux moteurs : éléments du calcul des moteurs, rendement et caractéristique de ceux-ci, influence du mode de régulation, rendement des transmissions, usure et prix des organes, résistance à la traction et consommation d'énergie par les trains en marche à vitesse constante, en rampe, en courbes, au moment du démarrage. Les deux paragraphes suivants, consacrés à la transmission et au retour du courant, sont traités très brièvement. Nous croyons que l'auteur aurait pu, sans sortir du cadre qu'il s'était tracé, entrer dans de plus grands détails. En outre, le passage relatif à la résistance des connexions (p. 171) ne nous semble pas exact, car il est fait abstraction de la résistance au contact des joints avec les rails et qui est loin d'être négligeable. Ce chapitre est terminé par une étude très intéressante sur le calcul du poids des accumulateurs nécessaire à la traction d'une voiture et par l'étude du rendement et des dépenses à l'usine génératrice.

Le chapitre suivant est consacré à l'étude de la transmission du courant aux voitures par les rails et par troisième rail. Il contient la description de toutes les installations faites par ce système depuis les essais de Siemens et Halske jusqu'aux chemins de fer élevés anglais et américains et au chemin de fer du Salève.

Les transmissions par double fil aérien, à courant continu ou à courants alternatifs sont étudiées dans le chapitre suivant, ainsi que le chemin de fer souterrain de Budapest et les applications aux Mines.

Le chapitre suivant débute par l'étude de la transmission par fil aérien unique, qui est la plus ordinairement employée ; toutes les questions relatives à la construction, aux prix de revient y sont amplement traitées. Il continue par l'étude du circuit de retour : corrosions électrolytiques, perturbations téléphoniques et remèdes à y apporter ; cette partie est très bien traitée ; cependant, en ce qui concerne les précautions à prendre contre l'électrolyse, l'étude des différents procédés essayés, ainsi que des feeders de retour, aurait pu être plus détaillée sans inconvénient. A propos de la soudure des rails, M. Ernest Gérard, remarquant que les ruptures de rails continus ne sont produites qu'à des distances les unes des autres d'au moins 200 m, propose de ne souder les rails que par bouts de cette longueur qui seraient réunis par un joint élastique. Ce procédé mixte donnerait certainement de bons résultats, mais la pratique récente en Amérique et les essais faits à Lyon tout dernièrement semblent prouver qu'on peut obtenir de bons résultats sans cette disposition. A la suite de ce chapitre sont données de nombreuses descriptions d'installations avec l'exposé des résultats d'exploitation. L'auteur groupe

les installations d'un même fabricant, ce qui lui permet, en donnant d'abord une description détaillée d'une installation type, de décrire brièvement les suivantes. Il a pu ainsi donner dans peu de pages une quantité énorme d'informations intéressantes.

Les chapitres suivants sont consacrés à l'étude des canalisations souterraines à caniveau ouvert et à contact superficiel, des tramways à accumulateurs, de la locomotion sur route, et de la navigation électrique. Le dernier chapitre est consacré aux chemins de fer électriques proprement dits, y compris les chemins de fer monorails.

En résumé, cet ouvrage essentiellement pratique est de ceux qui sont indispensables à toute bibliothèque spéciale. G. PELLISSIER.

CHRONIQUE

Les moteurs électriques dans les ateliers de construction de machines-outils d'Homestead (Pensylvanie). — Depuis quelques années déjà, la Farrel Foundry and Machine Company qui exploite cette usine, avait fait installer dans une des dépendances de cette dernière une petite station centrale à vapeur, dont l'équipement électrique se composait de trois groupes générateurs de courant continu; deux accouplements direct, de 75 kilowatts chacun. et un autre à commande par courroie de 65 kilowatts. Ces générateurs alimentaient, outre l'éclairage, plusieurs petits moteurs électriques adaptés les uns à la commande de transmissions nécessitant une faible puissance; les autres à la manœuvre de trois ponts roulants.

En raison des avantages notables que procure l'emploi des moteurs électriques sur tous les autres moyens de commande des transmissions, la Farrel Foundry and Machine Company a décidé de l'adopter dans tous ses ateliers. Elle a, à cet effet, conclu un marché avec la compagnie d'électricité Derby qui exploite la station hydraulique de Housatonil Dam pour la fourniture de 250 à 300 chevaux en courant continu à 500 volts.

Cette énergie est utilisée par 19 moteurs : 3 de 35,5 de 10 et 5 de 15 chevaux, disséminés dans les différents ateliers de l'usine. Dans l'un de ces derniers, récemment aménagé pour la grosse construction, les moteurs de 35 et de 15 chevaux qui commandent les transmissions sont situés sur une console élevée dont les vibrations sont amorties et la fatigue atténuée par de nombreuses entretoises fixées sur l'infrastructure métallique supportant le toit. Les autres petits moteurs sont placés sur le sol même de l'atelier ou suspendus aux poutrelles de plafond.

Tous ces moteurs ont été construits et installés par la General Electric C°, de Schenectady: ils fonctionnent sans surveillance aucune, à part celle des godets graisseurs qu'un ouvrier visite tous les jours. Leur mise en marche s'effectue du tableau spécial adjoint à l'ancien tableau de distribution de l'usine. Ce nouveau tableau est naturellement pourvu de tous les appareils nécessaires à la réception du courant venant de l'usine hydraulique ainsi qu'à sa répartition sur le système à trois fils sur lequel sont branchés les moteurs.

De l'ancienne station à vapeur, on n'a conservé en service régulier que l'unité de 65 kilowatts qui sert à l'alimentation des moteurs des trois ponts roulants: les autres sont maintenues en réserve pour suppléer la station hydraulique au moment des basses eaux. Cette dernière, qui utilise les eaux du barrage de Housatonic Dam à l'aide de deux groupes hydraulico-électriques de 200 kilowatts chacun, demeure en effet inactive pendant deux mois de l'année par suite des sécheresses.

ERRATUM

On nous signale une omission dans l'article : ***Le tramway électrique d'Enghien-Saint-Gratien-Montmorency***, par M. E. DIEUDONNÉ, publié dans le numéro du 4 septembre dernier, p. 433. L'auteur a involontairement omis de dire que les deux génératrices de l'usine, les tableaux de distribution et les équipements électriques des voitures ont été fournis par la Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston.

Le Gerant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XIII. Samedi 16 Octobre 1897 4e Année. — N° 42.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

TÉLÉGRAPHIE SOUS-MARINE [1]

MÉTHODE GRAPHIQUE POUR L'ÉTUDE DE LA TRANSMISSION DES ONDES

La question de la transmission des ondes électriques dans les câbles sous-marins a été traitée par le calcul il y a longtemps déjà. On en trouvera l'exposé complet dans le traité de M. Wünschendorff (p. 460-467). La forme des ondes, à leur sortie du câble, a été analysée aussi. — La méthode que je vais présenter ici, et qui est due à M. Ader, offre ceci de particulier, qu'elle est purement graphique et permet, par l'étude des signaux produits dans un câble, de déterminer les meilleures conditions de transmission.

On a remarqué que dans un même câble et pour des émissions courtes, de l'ordre de celles employées en télégraphie, les ondes qui en résultent à l'autre extrémité s'inscrivent par des courbes sensiblement semblables; c'est-à-dire que leurs abscisses (durées) S, et leurs ordonnées (intensités) D, sont proportionnelles (fig. 1). En supposant qu'il en soit exactement ainsi, on pourra caractériser la courbe d'une onde qui sera sensiblement semblable, pour toutes les autres ondes, dans un même câble.

Je vais donc prendre une onde à sa sortie d'un câble; la longueur de cette onde, c'est-à-dire le temps qu'elle met à sortir du câble, variera avec le courant qui lui a donné naissance. Soit $\mathcal{T}$ cette valeur quelconque. Je prendrai des fractions de cette longueur $\mathcal{T}$ pour l'espacement des signaux, ou intervalle entre les signaux. Donc:

La durée de l'émission au départ sera toujours une portion de $\mathcal{T}$. — J'appellerai *valeur électrique* d'une émission le produit de l'intensité du courant par sa durée. En conséquence, l'onde représentera en surface la valeur électrique de l'émission qui lui a donné naissance.

Il est évident, de plus, que l'intervalle entre les ondes, à la sortie du câble, est égal à l'intervalle entre les émissions, à l'entrée.

Soit donc (fig. 1) la forme de l'onde résultant de l'émission d'un courant positif. Cette forme a été simplement relevée sur un des câbles de Marseille-Alger, soit au recorder, soit avec tout autre enregistreur. On remarquera que l'avant est beaucoup plus plein que l'arrière; la flèche marque l'écoulement successif du courant; $\mathcal{T}$ représente le temps qu'il a fallu pour la sortie du câble. Pour faciliter par la suite les tracés, je fais, avec une carte de visite par exemple, un gabarit de cette onde, afin de pouvoir tracer rapidement toutes celles qui lui seront semblables.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 193, 295; 24 juillet et 7 août 1897.

Si deux émissions positives d'égale durée ont lieu, séparées par le temps $\mathcal{T}$ (fig. 1), les

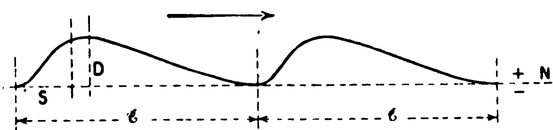


Fig. 1.

ondes de sortie se succéderont, l'une commençant au moment où l'autre finit.

Plusieurs émissions semblables, faites à 1/2 $\mathcal{T}$ d'intervalle, trois par exemple (fig. 2),

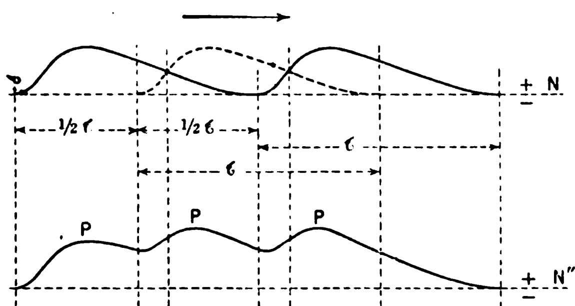


Fig. 2.

donneront lieu à des ondes mêlées (la deuxième est figurée en pointillé, afin de mieux les distinguer). Nous voyons qu'une partie de l'une est tracée sur la surface de l'autre, et la cache partiellement. Je vais, sur une deuxième ligne N″, descendre les surfaces des trois ondes, c'est-à-dire *les totaliser*. Pour cela, j'abaisserai des perpendiculaires, et j'y rapporterai les ordonnées des trois courbes, de sorte qu'une nouvelle ordonnée sera la somme de toutes celles des surfaces superposées précédemment.

J'aurai ainsi formé une courbe ondulée PPP qui sera la résultante des trois ondes de sens positif. La surface comprise entre la courbe PPP et la ligne neutre N″ sera la valeur totale de ces trois ondes, avec l'intensité relative à chaque instant de l'écoulement.

On trouvera de même la courbe et la surface résultant de l'émission de *cinq* ondes se succédant à 1/5 $\mathcal{T}$ d'intervalle (fig. 3). Ici la surface est bien plus grande et bien plus haute, et on ne distingue plus les ondulations partielles comme sur la figure précédente; c'est que la somme des cinq durées

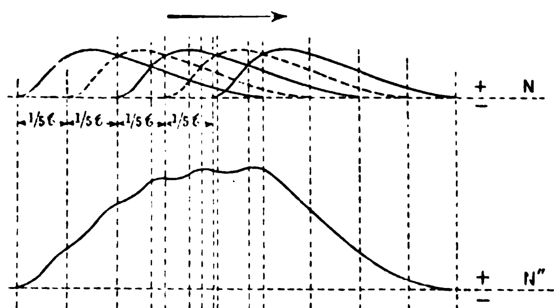


Fig. 3.

d'émission se rapproche de l'unité de temps $\mathcal{T}$. — On comprend maintenant ce que j'ai voulu dire, en établissant que la durée d'une émission ne peut être qu'une portion du temps $\mathcal{T}$. Car la somme de durée des émissions ne peut pas dépasser $\mathcal{T}$: en la supposant égale à $\mathcal{T}$, cela ferait juste la valeur d'un courant continu (voir plus loin).

B. — Occupons-nous à présent du rôle des *ondes de décharge*. Ainsi que pour les ondes ci-dessus, qui sont les ondes de charge, je ferai un gabarit pour les ondes de décharge en procédant de même, mais en lui donnant la valeur de l'onde nouvelle.

La figure 4 montre, en dessous d'une onde (+), une onde de décharge (—). Comme longueur, elle a par exemple les 4/5 de $\mathcal{T}$. Sa hauteur aura aussi la même proportion. Sa valeur électrique (ou sa surface) sera donc: $\frac{16}{25}\,\mathcal{T} = 0{,}64\,\mathcal{T}$.

Il est entendu que cette valeur est ici absolument facultative. Une fois la méthode comprise, on en déterminera exactement la valeur, selon les cas. Pour tout ce qui suit, il suffira donc de deux gabarits, un pour la charge, un pour la décharge.

En même temps que l'onde (+) de charge, émettons une onde (—) de décharge, représentée en dessous de la ligne neutre (fig. 4, α). Il y aura ici un excédent de charge (+), dont la valeur sera la différence de surface des deux gabarits. Dans le cas présent l'excédent

se trouvera en arrière. Quand la décharge est au contraire commencée plus tard, et qu'elle

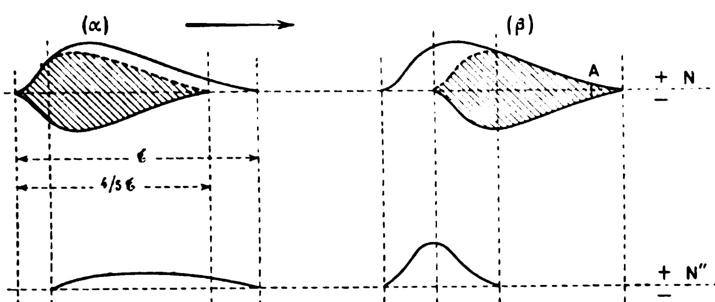


Fig. 4.

finit en même temps que la charge (fig. 4, β), alors l'excédent est en avant.

Pour avoir la forme de ces excédents, nous tracerons, dans l'onde de charge même, le petit gabarit (trait pointillé). La zone ombrée représente les parties neutralisées, et on met au net les ordonnées sur N''. Les courbes, descendues, donneront, en durée et en intensité, la valeur de l'écoulement du courant au bout du câble ; les deux écoulements auront la même valeur ; mais le premier aura mis plus de temps à s'écouler, et sera moins intense que le second, qui sortira en moins de

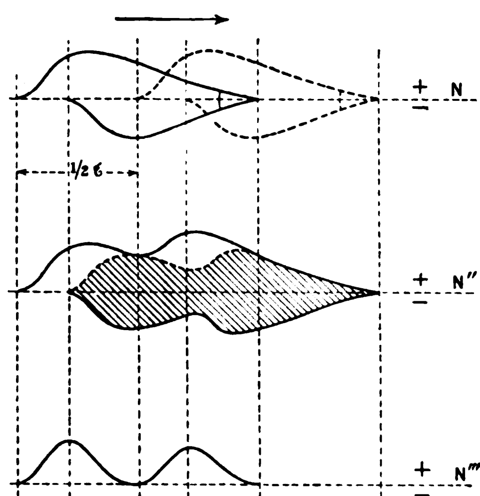


Fig. 5.

temps et par conséquent sera plus intense que le premier ; c'est évidemment le second qui devra être employé pour les signaux télégraphiques.

La figure 5 nous montre deux ondes (+), faites à un intervalle 1/2 $\mathcal{T}$, et déchargées comme à la deuxième position de la figure 4. Totalisant les ordonnées comme plus haut, et mettant les excédents au net sur une troisième ligne neutre N''', nous aurons finalement deux écoulements positifs.

En ne donnant (fig. 6) qu'un intervalle 1/3 $\mathcal{T}$ entre les deux émissions, nous aurons sur la troisième ligne neutre la valeur et la forme de l'écoulement, qui cette fois sera continu avec deux ondulations, ce qui vient du fait d'avoir rapproché les émissions, sans avoir changé la valeur des décharges.

Faisons maintenant (fig. 7) une émission (+), suivie d'une négative à un intervalle de 1/2 $\mathcal{T}$. Après les opérations habituelles, il

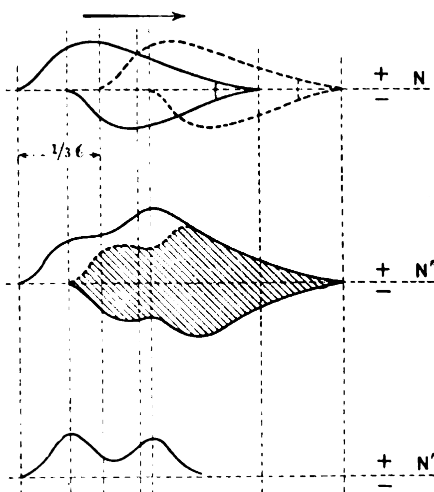
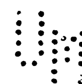


Fig. 6.

nous reste les excédents, qui se reportent au net sur la troisième ligne N''', et qui représentent un écoulement positif, suivi immédiatement d'un négatif d'égale valeur ; on voit que le passage du (+) au (—) est ici très adouci.

Rapprochons (fig. 8) encore ces deux émissions, et donnons-leur seulement un intervalle de 1/4 $\mathcal{T}$. On trouvera l'écoulement plus court, et le passage du (+) au (—) bien plus brusque.



Pour terminer les exemples, nous allons *émettre la lettre* B (un trait et trois points, — ...), représentée par une émission (—), suivie de trois (+), toutes les quatre déchargées à leur vrai moment. La figure 9 nous montre les émissions se succédant à des

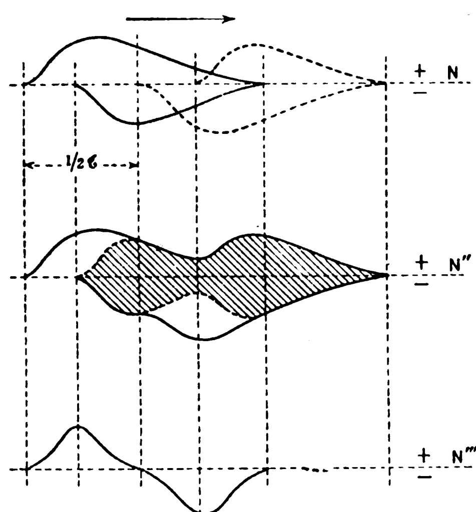


Fig. 7.

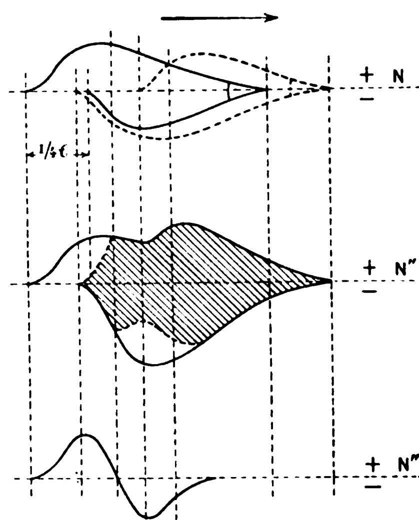


Fig. 8.

intervalles de 1/2 𝒯. Or, ainsi envoyée, cette transmission serait parfaite, car à la troisième ligne N''' on voit que les signaux touchent tous l'axe, ce qui prouve que les décharges ont été faites à point comme temps, comme durée et comme intensité.

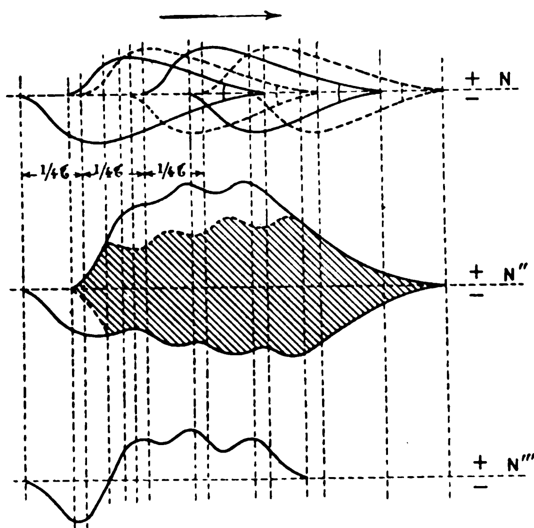


Fig. 9.

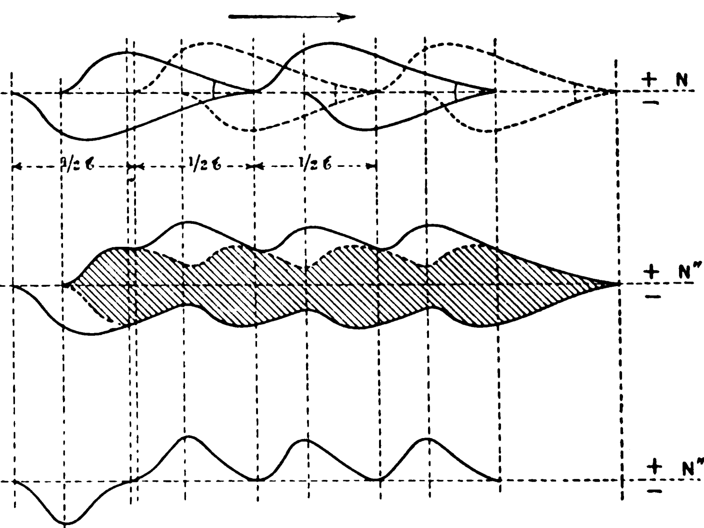


Fig. 10.

Mais il est inutile d'avoir des signaux si nets, et par conséquent lents. Sans rien changer ni aux valeurs des émissions, ni aux conditions de décharge, rapprochons-les (fig. 10) à un intervalle de 1/4 𝒯 seulement; cette vitesse, double de la première, donnera des signaux bien moins marqués : les points seront sous la forme d'un écoulement continu, et seulement légèrement ondulé; pour les avoir plus nets, il aurait fallu aussi modifier les décharges, en leur donnant plus d'intensité et de durée; et elles ont été

conservées comme à la figure 9, précisément pour en montrer ici, graphiquement, les défauts.

En résumé, si on considère les résultats graphiques obtenus, et mis au net sur les troisièmes lignes neutres des figures ci-dessus, au moyen de la méthode que je viens de présenter, on reconnaîtra que les courbes tracées sont, à s'y méprendre, semblables à celles qui enregistrent les « recorders » sur les bandes de papier. Cette méthode, sans présenter une précision mathématique, donne donc des résultats bien assez exacts, pour qu'on puisse l'appliquer à l'étude des transmetteurs. La forme de l'onde recueillie à la réception varie avec chaque appareil, suivant l'inertie et la susceptibilité de chacun ; ceci seul suffit pour faire voir que la même valeur de décharge ne conviendra pas à deux récepteurs différents. Plus on aura affaire à un récepteur sensible, plus on pourra augmenter la valeur des ondes de décharge, ce qui donnera, à vitesse égale, des déviations plus faibles, mais plus distinctes. Et les gains de vitesses réalisés par ce moyen sont loin d'être négligeables, comme on pourrait le croire ; au recorder même, la transmission, que je décrirai prochainement, donnait, sur les câbles Marseille-Alger, pendant les essais, 30 à 40 p. 100 de plus que la transmission ordinaire ; ce résultat était dû uniquement au système de décharge radicale du câble. Avec le récepteur Ader, approprié à la transmission nouvelle, le gain en vitesse atteignait 220 à 230 p. 100.

(*A suivre.*)

F. Rossel,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ [1]

Les applications de l'électricité à l'*artillerie* sont très nombreuses, principalement comme force motrice ou simplement directrice pour la manœuvre et le pointage du canon. Le mètre pointeur de *Greenough* est un nouvel exemple de la facilité avec laquelle l'électricité se prête aux fonctions les plus diverses.

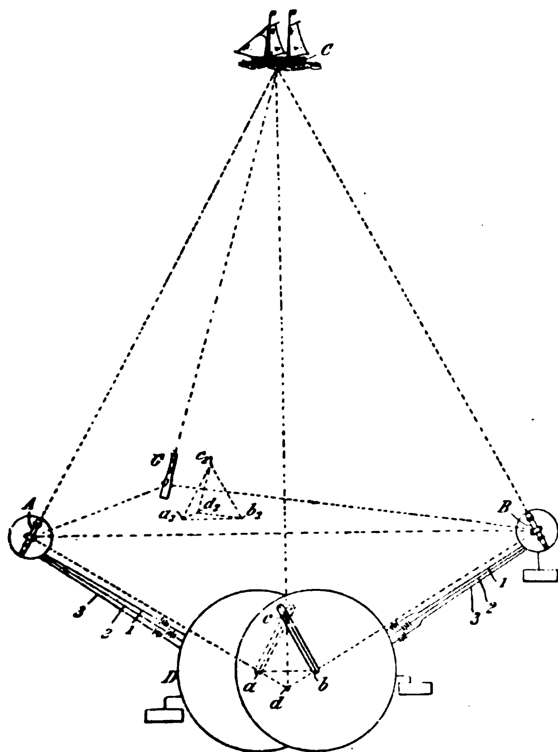


Fig. 26. — Pointeur Greenough (1897).

Ce télémètre D (fig. 26) est fondé sur le principe bien connu de la répétition par deux pointeurs *ac bc* des mouvements des viseurs A et B distants d'une base connue AB, de sorte que la similitude des triangles ACB et *acb* A *d* B et *adb* permet de mesurer sur *dc* la distance *d*C de l'objet visé.

Chacun des viseurs A et B est monté (fig. 27) sur un plateau *e* qui, par le train e_2 e_3 e_4 e_5, commande trois roues dentées f f_2 f_3, à balais g g_2 g_3 et à dents étagées (fig. 34) de manière qu'elles viennent successivement toucher ces balais. Les balais g_1 g_2 g_3 commandent les circuits 1 2 et 3 des trois électro-aimants h h_2 h_3, dont les armatures i i_2 i_3

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 9 octobre, p. 59.

commandent la roue *k* de l'aiguille du pointeur correspondant au viseur en question : B, par exemple ; l'autre aiguille, celle correspondant à A, est commandée de même, comme on

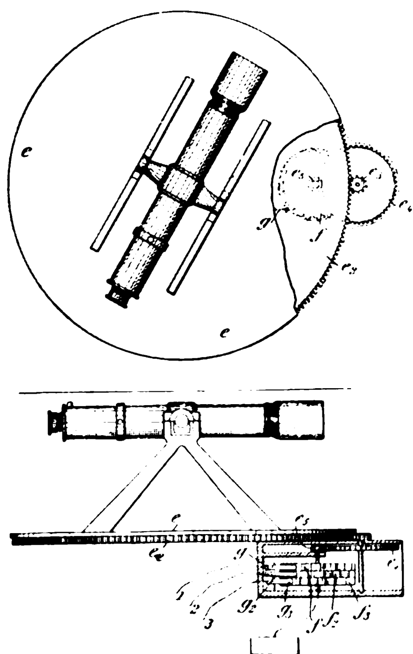


Fig. 27 et 28. — Pointeur Greenough. Détail d'un viseur.

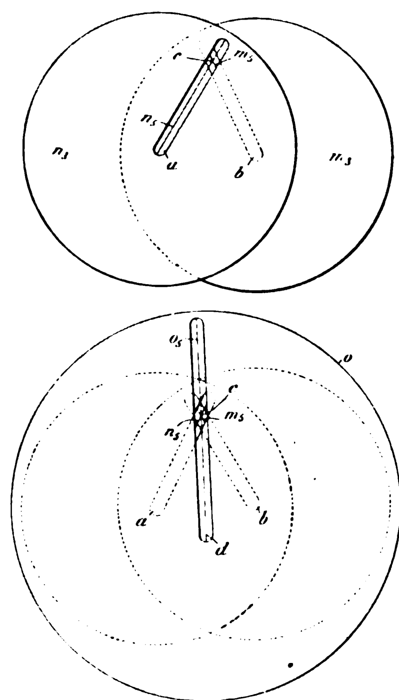


Fig. 29 et 30. — Pointeur Greenough. Schéma des alidades.

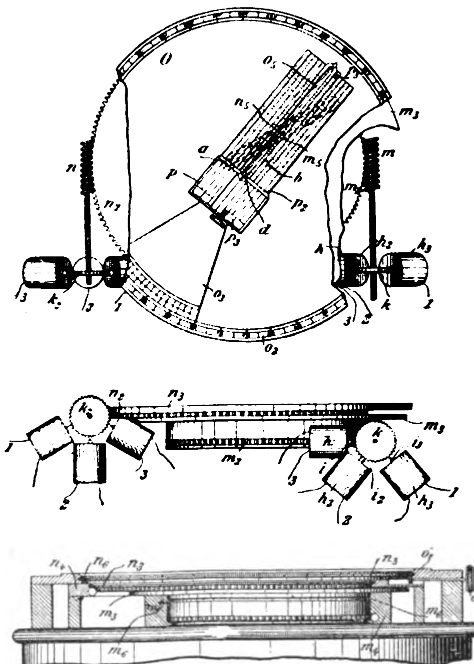


Fig. 31 à 33. — Pointeur Greenough. Détail des pointeurs.

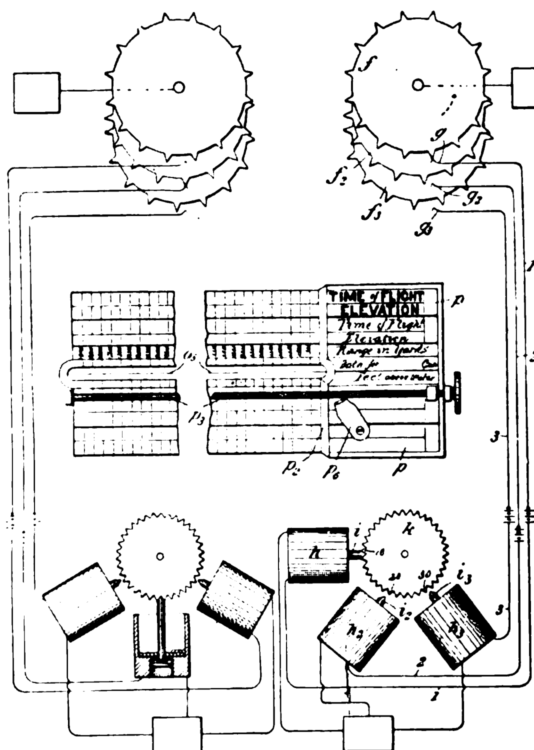


Fig. 34 et 35. — Pointeur Greenough. Schéma des circuits et détail de l'échelle.

le voit en figure 34. Quand, après i_1, i_2 avancera sur k, il fera, en poussant la dent 20, tourner cette roue vers i, puis i_3, continuant par 30 ce mouvement, dégagera complète-

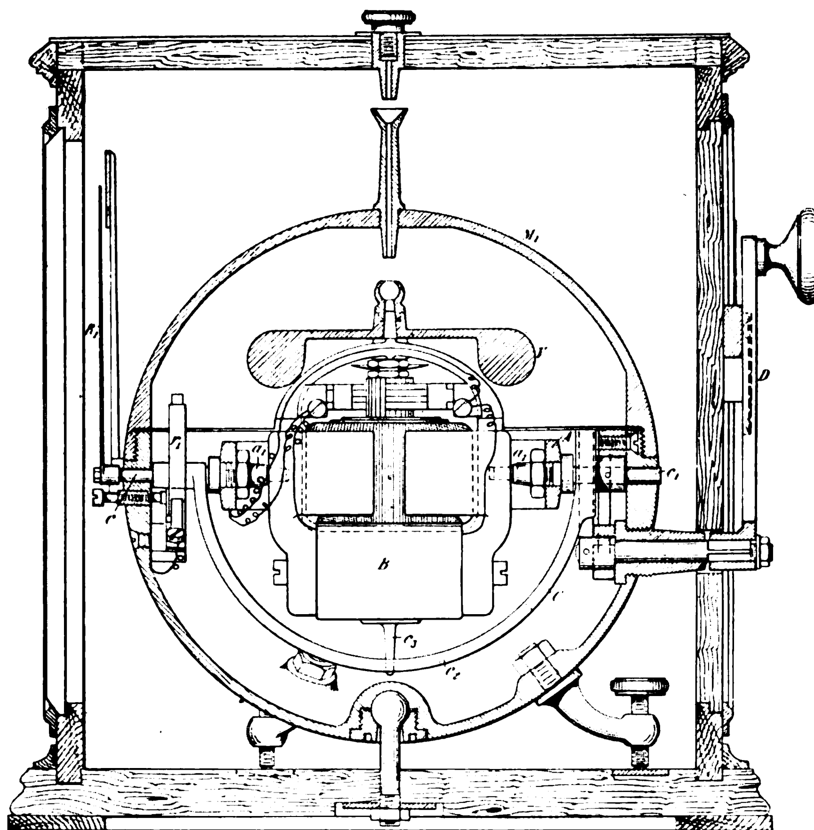


Fig. 36. — Mise en feu Obry (1895). Elévation.

ment de i le sommet de la dent 10, de sorte que, lorsque h ramènera i vers k, il continuera par sa poussée sur 10 la succession des poussées des armatures i, i_2 i_3, suivant exactement celle des contacts de f f_2 f_3 sur g g_2 g_3. On voit ainsi que, une fois synchronisé, le pointeur bc de k suit exactement le mouvement du viseur B, auquel il reste constamment parallèle ; et il en est de même pour le pointeur a c correspondant à A.

En réalité, la roue k commande (fig. 31) par m m_2 le plateau m_3, pivotant sur m_4 autour de b, et pourvue d'un fil radial m_5, ainsi maintenu constamment parallèle au viseur B ; le radial n_5 du plateau n_2, qui tourne sur m_5 autour du point a est de même maintenu par n n_3 k_2, constamment parallèle à A, de sorte que l'intersection de n_5 et de m_5 donne le point c de la figure 26. Un troisième disque o,

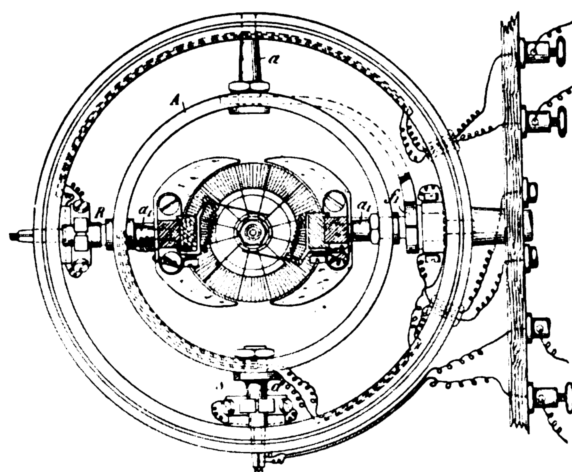


Fig. 37. — Mise en eu Obry. Plan.

pivoté sur un centre d correspondant à

celui du pivotement du canon G, porte l'alidade o_8, représentative de ce canon, auquel elle est parallèle quand elle passe par l'intersection des fils m_5 et n_5. Une graduation o_2, à

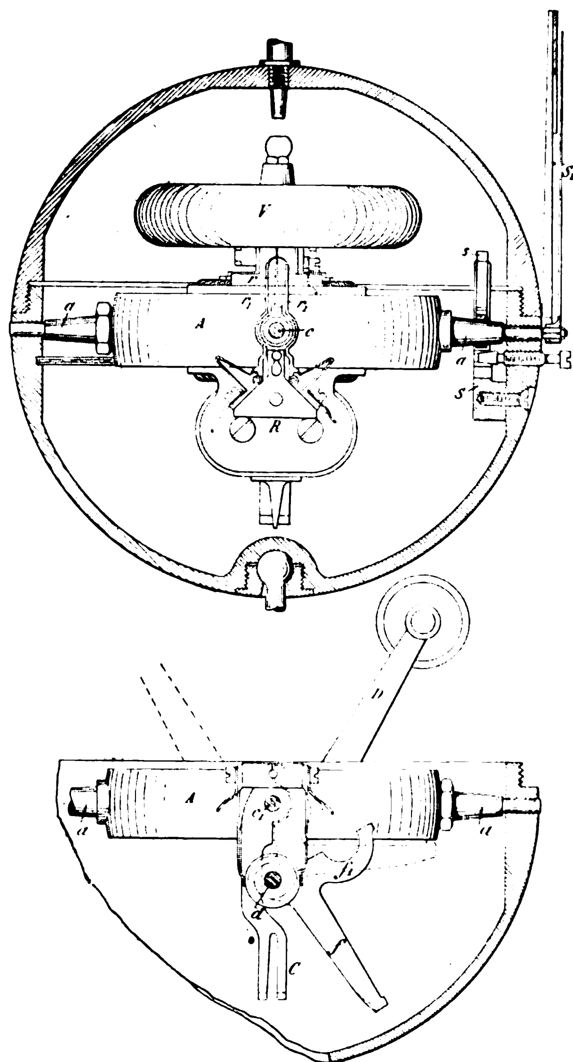


Fig. 38 et 39. — Mise en feu Obry. Élévation à l'opposé de la figure 36 et détail de l'arrêt.

vernier o_3, donne cette direction du pointage de G et on lit sur l'échelle de o_8 la distance de C de l'objet visé par G. Il suffit d'amener par la vis p_3 (fig. 31 et 35) l'arête p_2 de p au croisement de o_5 m_5 n_5 pour lire sur cette échelle, en même temps que la distance cd, les caractéristiques correspondantes du tir.

On a souvent, et depuis longtemps (Bessemer, 1867), cherché à assurer, au moyen de *mises en feu électriques*, le tir des canons de marine indépendamment du tangage et du roulis du navire qui les porte. L'appareil pro-

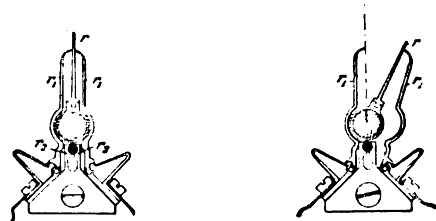


Fig. 40 et 41. — Mise en feu Obry. Détails.

posé à cet effet par M. L. Obry, de Trieste, repose, comme quelques-uns de ses prédécesseurs, sur l'emploi d'un gyroscope électrique suspendu à la Cardan sur deux axes, l'un parallèle, l'autre perpendiculaire au grand axe du navire et ne fermant le circuit général des mises en feu que si l'un de ces axes (ou tous les deux) est horizontal.

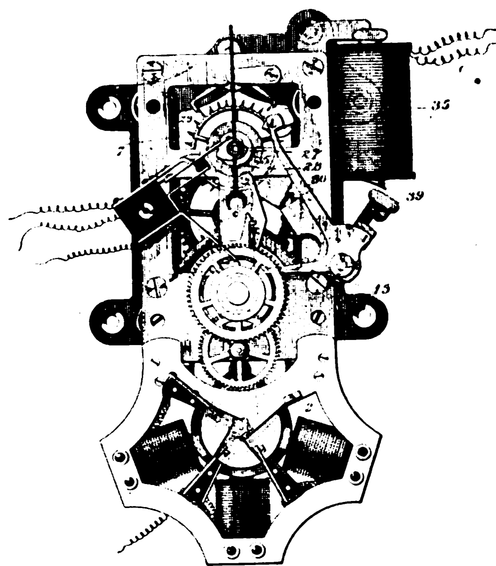


Fig. 42. — Remise à l'heure Gerry (1897).

Le gyroscope est constitué par un lourd volant V (fig. 36) qu'actionne une dynamo B suspendue, dans le globe M_1, sur les tourillons a_1 a_1 du cercle A, pivoté sur les axes aa fixés à M. et perpendiculaires à aa. Un étrier C, pivoté sur l'axe cc_1, parallèle à a_1 a_1, et dont

la coulisse c_2 recevant le taquet c_3 de B, porte une aiguille R_1, indiquant en R_2 les inclinaisons du navire suivant l'axe *aa* : le tangage par exemple, tandis que l'aiguille *s* de a_1 *a* indique son roulis. Enfin, chacun des axes *c* et *a* porte (fig. 38) une aiguille *r* qui ferme le circuit des mises en feu seulement quand elle est verticale, en contact avec les deux lames r_1 r_1 appuyées par des ressorts et qui rompt ce circuit, dès qu'elle s'incline au roulis ou au tangage du navire.

Pour arrêter le fonctionnement de l'appareil, on tourne la manivelle D du commutateur *d* de la position en traits pleins (fig. 39) dans celle en traits pointillés, ce qui a pour effet de caler l'étrier C et l'anneau A par les bras *f* et f_1, solidaires de *d*, de manière à immobiliser le gyroscope.

La *remise à l'heure* de H. Gerry, adoptée par la Self Winding Clock C°, de New-York,

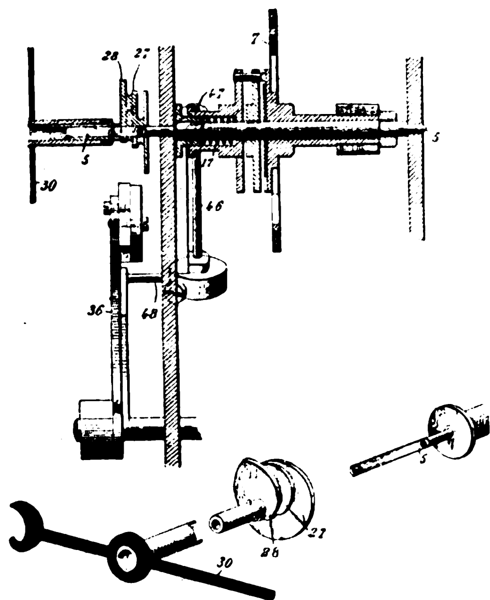


Fig. 43 et 44. — Remise à l'heure Gerry. Coupe par l'axe et détail de cet axe.

ramène au zéro l'aiguille 30 (fig. 43 à 46) des secondes sans arrêter le reste du mécanisme d'horlogerie remontée par la dynamo 2 (fig. 42). A cet effet, le courant synchroniseur passe dans l'électro 35 (fig. 43), qui, faisant basculer le levier 36, 39, avance par

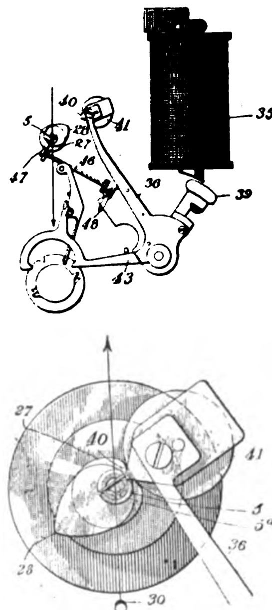


Fig. 45 et 46. — Remise à l'heure Gerry. — Détail du mécanisme 36 et des lames 27-28.

(fig. 43 à 45) 48, 46, 47 et, malgré le ressort 17, le plateau 16 de droite à gauche, sur

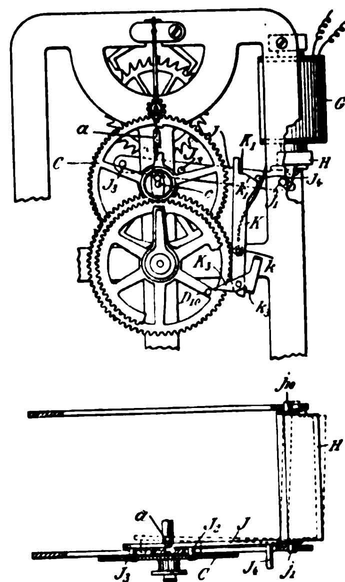


Fig. 47 et 48. — Remise à l'heure Crook (1897).

l'arbre 5 de 30, de manière à le débrayer en 5ª de la roue d'échappement 7 ; puis, la

pointe 40 et le galet 41, repoussant les cames 28 et 27, ramènent l'aiguille 30 au zéro. Après le passage du courant de synchronisme, le levier 36, reprenant sa position (fig. 43), lâche les cames 27 et 28, et permet au ressort 17 de renclancher sur 5 la roue d'échappement, qui, dès lors, reprend la commande de l'aiguille 30; une détente 43 retient le levier 36 dans sa position de repos jusqu'au nouveau passage du courant en 35.

L'électro-synchronisateur G (fig. 47) de la remise à l'heure de M. Crook, de la manufacture d'Elgin, attire son armature H qui glissant et pivotant par ses axes j_1 j_{10}, passe dans la position indiquée en traits pointillés, ainsi que son levier J. Ce double mouvement a pour effet d'amener les taquets J_2 J_3 de J entre les rais de la roue des minutes C, entraînée par l'embrayage à friction *c*, puis d'abaisser ces taquets de manière à ramener la roue C à la position qu'elle doit toujours occuper au moment de la remise à l'heure, à midi par exemple.

Pour éviter toute fausse manœuvre de C par un courant envoyé en G à une autre heure que celle du synchronisme, comme cela pourrait avoir lieu sur des horloges synchronisées par un fil télégraphique, le levier J se trouve ordinairement immobilisé par l'appui de son taquet J_4 sur la butée K_1 d'un levier K, et, à l'heure du synchronisme, le taquet D_{10} de la roue des heures repousse par l'étrier k_3 k_3 le levier K malgré son balourd autour de *k*, de manière à amener sous le taquet J_4 le plan incliné k_1, qui permet alors au levier J de s'abaisser sous l'attraction de G. Enfin, une butée *a* empêche les taquets j_3 j_2 de pénétrer entre les rais de C tant que J_4 reste sur k_1, de sorte que la marche de C ne saurait être troublée par aucune fausse manœuvre de G.

(*A suivre.*)

G. Richard.

ENDOSMOSE ÉLECTRIQUE [1]

2° *Interprétation des phénomènes. Théories.*

A l'époque où Daniell et Miller observaient les faits qui furent le sujet de leur mémoire, la théorie de Grotthus suffisait pour expliquer tous les phénomènes d'électrolyse connus. Grotthus, reprenant en 1805 (*Phys. chem.* Forsch, p. 123) le principe posé par Davy, admis plus tard par Berzélius et Ampère, avait regardé les molécules comme formées d'atomes les uns électropositifs, les autres électronégatifs. Les charges des atomes étaient égales en valeur *absolue*. L'attraction mutuelle liait les atomes et neutralisait les charges individuelles.

Lorsqu'un corps ainsi constitué est liquide et lorsqu'on plonge dans ce liquide deux lames reliées aux pôles d'une pile, les éléments électro-négatifs se tournent vers l'électrode positive, les éléments électro-positifs vers l'électrode négative, les molécules sont polarisées.

Si les communications avec la pile sont maintenues, les éléments électronégatifs en contact avec l'électrode positive se dégagent sur cette électrode, les éléments électropositifs en contact avec l'électrode négative se dégagent sur l'électrode négative. Tous les éléments intermédiaires se combinent entre eux en parcourant des chemins égaux pendant le même temps, de telle sorte qu'après cette première décomposition, tous les éléments électropositifs sont orientés vers l'électrode positive, et les éléments électronégatifs vers l'électrode négative. L'effet de la pile est alors de produire une demi-révolution de tous les

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 9 octobre, p. 49.

éléments, de manière à amener les éléments négatifs en regard de l'électrode positive et inversement. La demi-révolution effectuée une nouvelle décomposition a lieu, et les phénomènes se succèdent dans le même ordre. La figure 10 rend compte des trois phases indiquées.

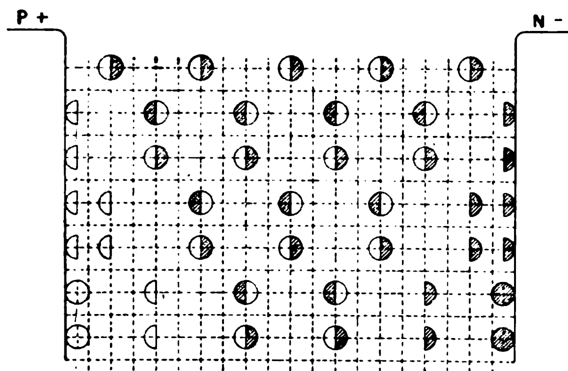


Fig. 10. — Schéma de la théorie de Grotthus.

L'électrolyse est le résultat d'une série de substitutions des atomes d'une molécule aux atomes de la molécule suivante, sans mise en liberté d'atomes ailleurs qu'au contact des électrodes. Le nombre des molécules entraînées ou décomposées est le même au voisinage de chaque électrode, par suite le changement de concentration est le même au voisinage des deux électrodes.

Les seules hypothèses fondamentales de la théorie de Grotthus sont : 1° l'égalité de charge en valeur absolue des atomes ; 2° l'égalité des chemins parcourus pendant le même temps par les atomes.

Dans la décomposition des sels doubles, l'alumine, la magnésie, l'oxyde de cuivre, ne pénétraient pas dans le compartiment négatif. Daniell et Miller se bornent à énoncer le fait : « Il semble que les trois bases (*loc. cit.* p. 13) alumine, magnésie et oxyde de cuivre, ou leurs métaux, lorsqu'ils sont en combinaison avec l'acide sulfurique et la potasse, refusent de passer, sous l'influence du courant voltaïque, de l'ode de zinc à l'ode de platine plongée dans un acide avec lequel ils pourraient former une combinaison immédiate et soluble. »

L'impossibilité de passage du cuivre (*loc. cit.* p. 15) est signalée en termes analogues : « le cuivre semblait refuser de s'échanger avec lui-même dans l'électrolyse. »

Les termes dans lesquels Daniell et Miller expriment l'arrêt de certaines substances, la différence de l'appauvrissement des solutions du voisinage des électrodes, signalent le fait sans l'expliquer, ou impliquent une incapacité de substitution de certaines molécules, sans donner le moyen de la mesurer. Des réserves inexpliquées sont introduites dans la théorie de Grotthus, les phénomènes ne sont pas interprétés.

La révision des expériences de Daniell et Miller, dans des conditions plus précises et plus simples, amenèrent successivement Pouillet et Hittorf à deux explications différentes basées l'une sur le rejet de la première hypothèse de Grotthus, l'autre sur l'abandon de la seconde.

1° *Théorie de Pouillet.* — Le seul effet visible dans la décomposition des chlorures était l'inégalité d'appauvrissement de la dissolution au contact des électrodes.

L'inactivité du dissolvant, l'égalité de puissance relative des pôles admises en principe semblaient rendre toute explication impossible.

Des observations antérieures inspiraient d'ailleurs à Pouillet des doutes au sujet du principe de l'égalité de puissance des deux pôles, accepté jusque-là sans discussion. L'inégalité d'appauvrissement du voisinage des électrodes, dans la décomposition des chlorures, lui paraît alors une réponse affirmative à la question : « Les deux pôles agissent-ils toujours comme des forces constantes égales et opposées ? » Pouillet nie l'exactitude du principe en discussion et, pour expliquer l'inégalité de puissance relative des deux électrodes, rejette l'hypothèse fondamentale : « l'égalité de charge des corps qui se combinent. Si deux électricités différentes sont complètement neutralisées l'une par l'autre, ce qui aurait lieu par exemple

dans le chlorure de fer dissous dans l'eau, tout corps chargé d'électricité qui touche la dissolution et agit par conséquent à une distance insensible sur l'équivalent du chlorure, exerce son action par deux forces qui composent un couple ; c'est-à-dire qu'il attire indifféremment l'équivalent de chlore ou l'équivalent de fer. Si, au contraire, les fluides électriques du chlore et du fer ne sont pas complètement neutralisés pour la distance dont il s'agit, le corps électrisé qui plonge dans la dissolution exerce une action prédominante sur l'un des éléments; il choisit celui qui possède une électricité contraire à la sienne, pour l'attirer, tandis qu'il repousse l'autre élément, etc.

» La résultante de cette action est plus grande ou plus petite suivant que le corps est lui-même chargé d'électricité positive ou négative. Or, c'est là précisément le phénomène que présentent les deux pôles de la pile chargés d'électricités contraires ; ils exercent des actions inégales, il semble donc permis de conclure que dans les corps composés la

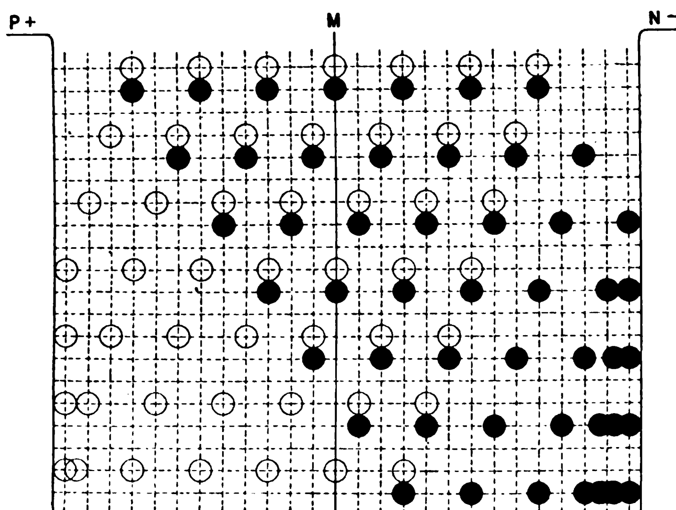


Fig. 11. — Schéma de la théorie de Hittorf.

neutralisation des fluides électriques contraires est incomplète ». Telle est l'explication de Pouillet.

L'interprétation de Pouillet attribue à chaque atome une charge variable avec la nature, implique la conservation de l'excès de charge par la molécule après la combinaison, par suite l'effet isolant du dissolvant; ces hypothèses multiples ne sont d'ailleurs susceptibles d'aucune mesure.

La théorie de Pouillet insuffisante pour expliquer les faits avec précision, impuissante à provoquer des recherches nouvelles n'a pas eu de partisans.

2° *Théorie de Hittorf*. — Hittorf conservant la première hypothèse de Grotthus cherche l'explication des phénomènes dans une modification de la seconde.

Deux cas sont distingués :

1° Lorsque les variations de concentration sont égales et simultanées au contact des deux électrodes, Hittorf admet que les ions, séparés par le courant, se déplacent dans des directions opposées avec des vitesses égales. La théorie de Grotthus, telle qu'elle a été exposée, rend compte des faits observés. Dans le cas où les changements de concentration au contact des électrodes ne sont pas égaux pendant le même temps, Hittorf admet que les ions, séparés par le courant, s'avancent l'un vers l'autre, avec des vitesses différentes : c'est le cas des sels étudiés par Daniell et Miller, Pouillet, Hittorf.

Le cas particulier où l'anion parcourt $\frac{1}{3}$ de la distance pendant que le cathion en franchit les $\frac{2}{3}$, proposé par Hittorf (*Ann. de Pogg*, t. LXXXIX, p. 182), aidé du schéma précédant (fig. 11) rend compte de l'hypothèse. Les ions sont représentés par deux disques, l'un blanc, l'autre noir, dont la réunion constitue les différentes molécules de l'électrolyte. Les centres des ions dont la réunion forme une même molécule, sont sur une même verticale. Les centres des ions des molécules différentes sont également éloignés sur des lignes horizontales, soit d la distance des centres. L'hypothèse de Hittorf consiste à admettre que au moment où le courant passe, les centres des ions blancs parcourent $\frac{1}{3}$ de la distance d en s'avançant vers P, pendant que les centres des ions noirs parcourent $\frac{2}{3}$ de la distance en se dirigeant vers N.

Soit M le plan de symétrie d'une molécule; pendant que $\frac{1}{3}$ du demi-disque blanc traverse le plan de symétrie, les $\frac{2}{3}$ d'un demi-disque noir traversent le même plan en sens inverse. Lorsque le centre de l'ion blanc a parcouru la distance $\frac{d}{3}$, le centre de l'ion noir s'est avancé de $\frac{2d}{3}$, la molécule considérée s'est partagée, l'ion blanc s'est avancée vers la molécule qui la précédait du côté P et l'ion noir vers la molécule qui la suivait du côté N.

Le même mouvement s'est produit dans toutes les molécules du liquide; l'état est représenté par la seconde ligne horizontale, un ion est rendu libre sur chaque électrode.

Lorsque :

Les ions blancs ont parcouru les distances $\frac{2d}{3}$

Les ions noirs ont parcouru les distances $\frac{4d}{3}$,

l'état est représenté par la troisième ligne.

La quatrième ligne représente le cas où :

Les ions blancs ont parcouru les distances $\frac{3d}{3}$

Les ions noirs ont parcouru les distances $\frac{6d}{3}$.

Le nombre des ions mis en liberté est le même en P et en N.

Mais le nombre des ions qui traversent le plan M est proportionnel à leur vitesse respective. Le nombre des ions noirs venant de P et se dirigeant vers N est deux fois plus grand que le nombre des ions blancs traversant M venant du côté N et allant vers P. Le nombre des molécules décomposées dans les compartiments respectifs comprises entre le plan M et l'électrode N est proportionnel au nombre des ions qui ont traversé le plan M. Le nombre des molécules décomposées dans le compartiment MP est le double du nombre des molécules décomposées dans le compartiment MN. Si les deux compartiments ont été remplis de dissolutions identiques au début, l'appauvrissement pendant le passage du courant sera deux fois plus rapide du côté P que du côté N.

Si les chemins respectifs parcourus pendant le même temps par les ions sont les fractions $\frac{1}{n}$ et $\frac{n-1}{n}$ de la distance qui séparait primitivement les centres, le premier compté vers P, le second vers N, un raisonnement identique montre que le nombre des molécules décomposées sera pendant le même temps.

$n - 1$ du côté P
1 » N.

Le rapport du nombre des molécules décomposées de part et d'autre du plan M pendant le même temps est $n - 1$. Ce rapport des nombres des molécules décomposées est le même que le rapport des poids de sel décomposé.

La détermination de ces poids étant accessible à l'expérience, on pourra déduire de l'expérience $n - 1$, par suite n et les vitesses relatives des ions.

Les bases de la théorie sont ainsi reliées aux données expérimentales.

L'hypothèse de Hittorf, ainsi pliée à l'expérience, donne une image du mécanisme.

La théorie de Hittorf en conservant et en étendant la théorie de Grotthus explique :

1° l'apparition des ions libres sur les électrodes seules; 2° l'absence de décomposition dans la masse du liquide comprise entre les électrodes; 3° l'inégalité d'appauvrissement de la solution dans le voisinage des électrodes.

De plus la théorie amène à des mesures dont on déduit l'un des éléments de l'hypothèse : la vitesse des ions.

3° *Théorie de d'Almeida.* — Si ingénieuse que soit la théorie de Hittorf, elle n'en est pas moins la représentation factice d'un phénomène inconnu; elle attribue aux différents atomes une énergie variable avec leur nature et indéterminée; elle est basée sur une condition bien difficile à réaliser, si toutefois elle est réalisable : la neutralité et l'inertie du dissolvant. La théorie de Hittorf suppose que le dissolvant ne subit aucune modification dont l'effet serait une décomposition ultérieure du sel qu'il contient.

L'impossibilité de réaliser et de conserver la neutralité rendrait insuffisante la théorie de Hittorf.

La démonstration de cette impossibilité résulte des recherches de d'Almeida. Le même mémoire montre : 1° que l'inégalité d'appauvrissement est extrêmement peu sensible avec une dissolution d'azotate neutre d'argent qui contient seulement des traces d'acide libre; 2° que la différence entre les poids de métal abandonnés par la solution négative et par la solution positive est d'autant plus grande que la proportion d'acide libre est plus considérable. La présence de l'acide libre est dès lors, pour d'Almeida, la cause de l'inégalité d'appauvrissement.

L'interprétation du rôle de l'acide (*loc. cit.*, p. 268) est basée sur deux faits expérimentaux : le pouvoir conducteur de l'eau acidulée, l'action réductrice de l'hydrogène sur une dissolution saline. D'Almeida présente la théorie de la manière suivante : « Le courant a trouvé sur son passage une dissolution complexe d'acide et de sel neutre; il a décomposé de préférence le meilleur conducteur, l'eau acidulée. Le métal déposé n'est donc qu'un produit secondaire dû à l'hydrogène naissant; il a été enlevé à la dissolution négative, parce que l'hydrogène n'a pu agir qu'au sein du liquide où il s'est dégagé. Quant à la solution positive, elle a dû rester intacte puisqu'elle s'est trouvée comme soustraite à l'action du courant qui circulait à travers l'acide. »

D'Almeida ne regarde pas le sel comme absolument soustrait à l'action du courant, par suite de l'acide libre : « le sel, dit-il, sert au passage d'une partie de l'électricité, mais d'une partie seulement. »

Chacun des corps formant le mélange ne conduit pas nécessairement le courant comme s'il était seul. D'Almeida admet seulement que le courant circule dans un mélange, qu'il traverse et décompose de préférence le corps dont la conductibilité est la plus grande, sans se croire autorisé à préciser dans quelle proportion la décomposition s'opère.

L'explication des faits est alors la suivante :

« 1° Lorsqu'un courant traverse une dissolution d'un sel métallique, il décompose le sel, l'eau ne joue que le rôle de dissolvant. Le sel disparait en égale quantité près de chaque pôle, cas dont s'écarte très peu la dissolution d'azotate neutre d'argent;

2° Si la dissolution est rendue acide, l'eau acidulée et le sel sont tous deux décomposés : une partie du dépôt métallique est due à une action secondaire exercée par l'hydrogène naissant;

3° Une dissolution qui ne contient pas d'acide en excès, avant le passage du courant, en renferme aussitôt que le courant arrive à le traverser.

Ce développement d'acide n'est pas évité le plus souvent même quand on emploie pour électrode positive une électrode soluble.

4° C'est à la présence de cet acide que d'Almeida attribue les pertes inégales subies par chaque moitié d'une dissolution métallique soumise à la décomposition électrochimique;

5° Lorsqu'un courant traverse une disso-

lution d'un sel alcalin ou terreux, il fait apparaître aux pôles les éléments du sel : l'acide et la base.

Cet acide et cette base livrent passage à une partie du courant et préservent de la décomposition le sel auquel ils sont mélangés.

L'action préservatrice est plus ou moins puissante selon la conductibilité de chacun des éléments.

6° C'est à la présence de cet acide et de cette base que d'Almeida attribue les pertes inégales subies par chaque moitié d'une dissolution d'un sel alcalin ou terreux, lorsqu'on la décompose par la pile. »

La théorie de d'Almeida basée sur des phénomènes accessibles à l'expérience et mesurables sans recourir à un mécanisme hypothétique dont le jeu est insaisissable, explique des faits précédemment observés par Pouillet et Hittorf, et suffit à l'interprétation des changements de concentration des dissolutions au voisinage des électrodes, dans les conditions des expériences étudiées dans ce chapitre.

(*A suivre.*)

G. Gouré de Villemontée

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Sur les dynamos;

Par W.-M. Mordey.

Après le célèbre mémoire de J. et E. Hopkinson (1), de 1886, la contribution la plus importante au point de vue du développement général de la machine dynamo est peut-être le travail présenté en 1893 par W.-B. Sayers, dont il a été rendu longuement compte dans la *Lumière Électrique* (2). La pratique ne montre toutefois aucune tendance à s'engager dans la voie indiquée par cet auteur. La communication que vient de faire M. Mordey à l'Institution of Electrical Enginers (3) aura pour conséquence de remettre à l'ordre du jour l'étude des perfectionnements possibles. La clarté de l'exposé et l'importance pratique de la question traitée par cet ingénieur des plus compétents, nous incitent à reproduire son mémoire en entier et à résumer la discussion à laquelle il a donné lieu.

Depuis quelques années, la dynamo a peu progressé, elle est considérée comme ayant atteint son plein développement — excepté peut-être en ce qui concerne les dimensions — et la pratique ne semble pas vouloir s'écarter des proportions actuelles.

La dynamo justifie-t-elle sa réputation ? En tant que machine transformant du travail, elle la justifie certainement. Les résultats qu'elle donne sont excellents. Elle ne chauffe pas, est robuste, durable, de grand rendement, possède une bonne régulation et la commutation se fait dans de bonnes conditions, même dans quelques cas avec des balais fixes sous charge variable. Mais ces qualités, communes à toutes les bonnes machines, ne sont obtenues qu'au prix d'une grande dépense de matériaux coûteux, au prix d'un grand entrefer, d'une excitation excessive et de dimensions d'inducteurs plus grandes que l'armature ne l'exige.

A ce point de vue, les meilleures dynamos modernes offrent une grande marge pour les perfectionnements. Elles devraient être considérées non comme des machines accomplies, mais comme étant rudimentaires, imparfaites et peu satisfaisantes.

(1) *La Lumière Électrique*, t. XXIII, p. 365, 409 et 432.

(2) *La Lumière Électrique*, t. XLIX, p. 427, 480, 529 et 581.

(3) Séance du 20 mai 1897.

Pour établir le bien fondé de cette assertion, il suffit de constater ce simple fait que la dixième partie de la puissance actuellement dépensée pour l'excitation, suffirait amplement pour l'aimantation du fer du circuit magnétique et d'un entrefer suffisant pour le jeu de l'induit; les neuf autres dixièmes sont dépensés directement ou indirectement pour vaincre la réaction d'induit.

En cherchant à perfectionner la dynamo, notre but devrait être, tout en conservant un bon type pratique, de tirer un plus grand travail d'une valeur donnée de matière première et de main-d'œuvre.

Le débit est limité par les étincelles, l'échauffement, par des questions de régulation et de résistance des matériaux. Il est préférable que ce soit l'échauffement plutôt que les étincelles qui limite le débit, afin de rendre possible des surcharges de courte durée. Lorsqu'une machine crache beaucoup quand elle est surchargée, on ne peut pas dépasser de beaucoup sa charge normale; si, au contraire, elle ne crache pas, on peut la surcharger pendant quelque temps parce qu'elle ne chauffe que lentement. On ne saurait prêter trop d'attention à ce sujet, puisque la durée de la machine en dépend. Il est à craindre que l'on se soit trop préoccupé d'éviter les pertes de chaleur en cherchant un grand rendement, et pas assez des moyens de se débarrasser de la chaleur engendrée.

La présente étude s'occupe principalement des conditions qui permettent de réduire la matière première et la main-d'œuvre en combattant les étincelles et la réaction d'induit. Mais il ne faut pas oublier que plus ces éléments seront réduits, plus la question du refroidissement — par ventilation, rayonnement et conduction — deviendra importante.

Une grande partie de la dépense inutile peut sûrement être évitée. Que l'évaluation précédente de la partie inutile n'est pas exagérée, cela ressort de la considération du cas théorique suivant : soit une dynamo dont l'armature est établie comme d'habitude, mais dont le champ inducteur n'est que suffisant pour produire le voltage donné, à vide, les conducteurs de l'induit ayant toutefois une section suffisante pour supporter le courant normal. Une telle machine pourrait avoir un induit denté, un entrefer juste suffisant pour le jeu mécanique [1] et un circuit magnétique court. Elle n'exigerait qu'une très petite excitation. Essayons maintenant de la charger : la réaction entre en scène, et pour la combattre, il faut augmenter l'entrefer; puis il faut accroître l'enroulement inducteur, allonger l'inducteur pour ménager la place nécessaire au fil supplémentaire, augmenter sa section pour rattraper les fuites magnétiques résultant de l'accroissement de l'entrefer, et ainsi de suite, en cumulant, jusqu'à ce que l'excitation soit 30 à 50 fois plus importante qu'au début. Pratiquement, la totalité de cette dépense supplémentaire est une conséquence directe de la réaction d'induit.

Examinons les données d'excitation de dynamos bien connues. Prenons pour exemple d'une armature à noyau lisse la machine Edison-Hopkinson, décrite avec détail dans le mémoire Hopkinson de 1886, et comme exemple très récent de noyau denté, la génératrice de 150 kilowatts pour tramways de la General Electric C°, complètement décrite dans l'édition de 1896 du traité de Thompson.

L'examen de ce tableau révèle quelques ressemblances intéressantes. Si une partie quelconque du circuit magnétique peut être considérée comme plus essentielle que d'autres, c'est probablement au noyau d'induit que revient cette distinction. Dans les deux

[1] Pour montrer les dimensions inférieures mécaniquement suffisantes de l'entrefer, on peut se reporter à la pratique des moteurs polyphasés. Dans ces machines, une grande réaction d'induit est essentielle pour le fonctionnement. Voici les dimensions adoptées par un constructeur pour le jeu mécanique :

Puissance du moteur.	Jeu.
1/24 ch	0,3 mm
5 »	0,5 »
30 »	0,7 »
100 »	1,5 »
300 »	2,5 »

cas considérés, cette partie essentielle absorbe respectivement 0,68 et 0,71 p. 100 de l'excitation ; les autres 99,3 p. 100 sont dépensés pour l'aimantation du reste du circuit.

RÉPARTITION DE L'EXCITATION

	General El. C[e] 150 kw (1886) 6 pôles.		Edison-Hopkinson 34 kw (1886) 2 pôles.	
	p. 100.		p. 100.	
Entrefer . . .	44.39	88,15	80,2	89,8
Dents.	3,06		....	
Compoundage	40.70		9.6	
Noyau d'induit	0,71		0,68	
Noyaux d'inducteurs . .	4.58	11,04	6,61	9.53
Culasse. . . .	6.56		2.92	
	100		100	
Amp.-tours, total	19630		20156	

Si nous comparons l'excitation initiale à la pleine excitation, nous voyons que, malgré que la première soit faible dans la machine à induit denté, le résultat final est à peu près le même dans les deux cas, la grande réaction dans l'un d'eux étant balancée par le grand entrefer dans l'autre.

Avant d'aller plus loin, l'auteur fait remarquer que la plupart des diagrammes dont il fera usage n'indiquent que le profil intérieur tourné vers l'induit du circuit magnétique inducteur et la section transversale des conducteurs représentés par des cercles noirs ou blancs selon le sens du courant. La limite extérieure du fer des inducteurs peut être quelconque. Ce mode de représentation rend parfaitement compte des actions en jeu et présente l'avantage de ramener toutes les formes d'inducteurs à une base commune, et il permet de comprendre plus aisément le problème de l'induit auto-excitateur en montrant l'action des conducteurs d'induit sur le champ.

Comparaison de types. — Des deux classes[1] de dynamos — à noyaux lisses et dentés — la première est préférée en Angleterre, principalement à cause du bon fonctionnement du collecteur, la seconde est préférée sur le continent et en Amérique. Aux États-Unis, les génératrices de 500 volts pour tramways, sont presque toutes à induit denté ; mais pour l'éclairage à basse tension, où il faut recueillir des courants intenses, on emploie souvent des noyaux lisses.

On peut dire que le type à noyau lisse donne d'excellents résultats dans la pratique, que la captation du courant s'y fait bien, mais qu'il est coûteux et peu satisfaisant sous d'autres rapports.

Dans le type à noyau denté, la captation du courant et la régulation sont moins satisfaisantes, mais il présente, à d'autres points de vue, de si grandes qualités, qu'il est de la plus grande importance de le perfectionner. Ses avantages latents, pour ainsi dire, sont, aux points de vue mécanique, électrique et magnétique, par rapport au premier type, les suivants :

1. Excitation moindre ;
2. Fuites magnétiques moindres ;
5. Absence de courants de Foucault dans les conducteurs d'induit ;
4. Conducteurs d'induit massifs au lieu de divisés ;
5. Effort latéral faible sur ces derniers ;
6. Fixation aisée des conducteurs ;
7. Très bonnes conditions de refroidissement ;
8. Construction moins coûteuse.

Examinons ces différents points.

1. L'excitation est habituellement plus petite qu'avec les machines à noyau lisse, mais elle est loin d'atteindre sa limite inférieure. La raison en est que pour combattre la réaction d'induit et limiter les étincelles, l'entrefer est ordinairement plus grand que ne l'exigerait le jeu mécanique, et ces machines travaillent souvent à une très haute densité, ce qui produit le même effet qu'un plus grand entrefer.

2. Comme les fuites magnétiques dépendent

[1] Les dynamos à induit sans fer ne sont pas assez importantes pour former une classe à part.

principalement de la chute de potentiel magnétique à travers l'entrefer, il résulte de (1) qu'elles sont plus considérables qu'elles ne devaient l'être, comme on le verra plus loin.

3 et 4. L'absence des courants parasites dans les conducteurs d'induit est pratiquement obtenue. Peu de lignes de force passent dans les fentes du noyau et il n'est pas nécessaire d'employer des conducteurs lamellés ou câblés, excepté quand les dents sont saturées. Il en résulte une économie sur le rendement, et sur le prix, les conducteurs étant plus mécaniques et plus maniables.

5 et 6. L'effort exercé sur les conducteurs étant pratiquement nul, il suffit qu'ils résistent à l'entraînement mécanique. Même si cette condition n'était pas tout à fait réalisée (et cette question sera considérée plus loin), le support mécanique que forment les dents offrirait de grands avantages.

7. Le refroidissement est très important. Dans les induits à noyau lisse, toute la surface est couverte de matière isolante, qui conduit aussi très mal la chaleur. Dans une armature dentée, l'exposition de la surface nue du métal aide puissamment au refroidissement. La valeur de ce facteur ne peut être estimée trop haut.

8. Pour toute puissance donnée, le type denté est dès maintenant moins coûteux que le type à noyau lisse.

Si ces différentes constatations sont exactes, le noyau denté présente tous les avantages, excepté en ce qui concerne les étincelles et la réaction d'induit. Les partisans du noyau lisse peuvent faire valoir que les inconvénients de ce type sont plus apparents que réels, que, une fois posé sur ses coussinets, cet induit ne donne plus aucun ennui. Mais ce n'est pas là une réponse aux objections, et l'on sait que dans la construction et le maniement, cet induit exige beaucoup plus de soin et de savoir-faire que l'induit denté.

D'ailleurs, ce dernier type existe en un grand nombre de variétés dont les extrêmes sont les machines à petit entrefer et mauvais fonctionnement des balais, et celles à grand entrefer et meilleure commutation. Ni l'une ni l'autre catégorie ne réalise une complète utilisation des avantages inhérents au type. La variété à grand entrefer pourrait être considérée comme occupant une place intermédiaire entre les types lisse et denté. Les dents supportent les conducteurs et les entraînent, mais l'excitation n'est pas faible et la réaction d'induit est très grande en dépit de l'entrefer; si l'on y ajoute que le flux ne passe pas exclusivement par les dents, on voit que tout le bénéfice et l'économie du type denté sont perdus; l'effort direct s'exerce sur les conducteurs, des courants parasites y sont engendrés, et s'ils sont de forte section, il faut les diviser; les fuites magnétiques sont considérables et les machines ne sont pas de construction très économique.

Fuites magnétiques. — Les fuites magnétiques constituent un mal beaucoup plus sérieux qu'on ne l'admet généralement. Dans la plupart des dynamos, elles sont énormes, même dans celles qui ont la réputation d'être des machines parfaites, et qui le sont presque si on considère les modèles actuels. Par exemple, la dynamo ordinaire bipolaire à tambour, n'utilise qu'environ 70 p. 100 du flux produit. Le coefficient de fuitage donné dans le mémoire Hopkinson, était $\nu = 1{,}32$, ce qui veut dire que sur 132 lignes de force produites dans l'inducteur, 100 seulement passent par l'induit, les autres 32 passant en dehors et étant perdues. Ce coefficient fut déterminé sur une machine non chargée; à pleine charge, ν atteindrait probablement 1,4 ou plus. Des valeurs de ν données par le professeur Thompson [1] pour six variétés de machines varient de 1,25 à 1,49 — moyenne 1,34 [2]. De ce fait, il faut, dans toutes les dynamos, prévoir une augmentation de section de 25 à 30 p. 100 des inducteurs ou une augmentation de leur longueur pour loger l'en-

(1) *Dynamo Electric Machinery*, 1896, p. 151.

(2) Valeurs à faible charge; pour la pleine charge, elles sont considérablement plus élevées.

roulement supplémentaire. Les désavantages accessoires des fuites magnétiques sont bien connus : action sur les boussoles à bord des navires, dérangement des montres, obligation d'employer des supports non magnétiques, etc., et les avantages accessoires sont nuls. C'est une perte sans compensation.

Le système magnétique d'une dynamo paraît être généralement considéré à un mauvais point de vue. Commencer par aimanter l'inducteur, quand le but réel est d'obtenir l'aimantation de l'induit, peut sembler une erreur. On pourrait objecter qu'il s'agit d'exciter tout le circuit magnétique et que la manière de produire cette aimantation, indiffère. Or, il n'en est pas ainsi, comme Forbes (1) l'avait reconnu il y a déjà longtemps, et comme le reconnaît également Eickemeyer, qui place la bobine excitatrice directement autour de l'induit, au lieu de l'enrouler autour de l'inducteur.

Les propriétés de cette construction n'ont peut-être pas été généralement appréciées. Son effet sur le fuitage magnétique est très important, puisqu'elle le rend négatif. En d'autres termes, comme l'induit comporte un flux plus grand que l'inducteur, le fuitage lui est favorable au lieu de lui nuire ; car le flux entier est alors utile, puisqu'il traverse l'induit. On ne doit naturellement pas en conclure qu'il faut favoriser les fuites au point de se passer du fer.

L'objection pratique à cette disposition, c'est qu'il n'est pas aussi simple de disposer l'enroulement inducteur autour de l'induit dans le sens longitudinal que de le placer sur le fer de l'inducteur, et qu'il n'y a pas de gain en cuivre ni en énergie, la longueur d'une spire autour de l'induit étant habituellement plus grande qu'autour de l'inducteur. Mais l'absence d'un champ de fuite extérieur et la petite longueur du circuit magnétique sont des points d'importance pratique dignes d'être étudiés. L'inconvénient des enroulements internes sera moindre à mesure que nous apprendrons à en diminuer le volume. En ce sens agiraient efficacement une réduction de prix et une amélioration de la qualité de la fonte d'acier. L'Angleterre est en retard dans cette industrie importante. Les États-Unis produisent en grandes quantités des pièces en acier fondu présentant des parties minces aussi nettement formées que si elles étaient en fonte.

Les considérations relatives au fuitage dans son rapport avec la disposition des inducteurs, diminuent d'importance quand on considère des entrefers plus réduits. S'il n'y avait pas d'entrefer, il n'y aurait pas de fuites, raison de plus pour employer des induits dentés.

Nous devons naturellement chercher à réunir les avantages des deux types d'induits. Il est très curieux que les enroulements adoptés à l'origine aient été conservés depuis presque sans modification. Par exemple, dans les armatures en anneau, l'hélice sans fin enroulée autour d'un noyau de fer avec des prises de courant à intervalles réguliers, est employée aujourd'hui exactement telle qu'elle fut introduite par Gramme et Pacinotti, il y a vingt-sept ans.

Dans cet enroulement, comme dans tous les enroulements ordinaires, les choses sont

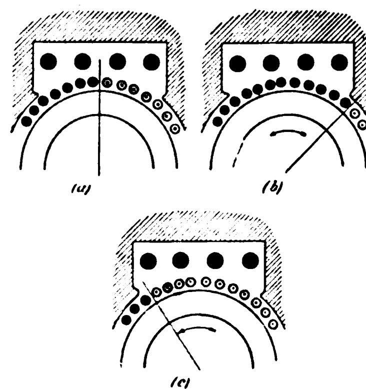


Fig. 1.

disposées comme le montrent les trois diagrammes de la figure 1. (a) Sans décalage, les courants de sens positif et négatif se compensent. (b) Avec un décalage en arrière, le

(1) Brevet anglais, n° 4 120, 1885.

courant d'induit assiste le champ inducteur. (*c*) Avec un décalage en avant, le courant d'induit combat le champ, (*c*) représente le calage ordinaire assurant une bonne commutation.

Nous devrions employer une disposition telle que, sans diminution de la force électromotrice, les conducteurs de l'induit compris entre deux cornes polaires successives, n'affaiblissent pas le champ, ou mieux encore, ajoutent leur action à celle de la force magnétisante dans cette région. Si nous pouvions opérer la commutation à l'aide de balais décalés en arrière, le courant d'induit aiderait l'enroulement inducteur. Si les balais pouvaient occuper une position intermédiaire, les effets des courants d'induit seraient égaux et opposés et il n'y aurait pas de réaction. Les deux dernières conditions ne peuvent ordinairement être réalisées à cause des étincelles, les spires sous les balais étant le siège d'une force électromotrice et produisant un courant intense dans le court-circuit.

Enroulement Sayers. — Sayers a indiqué la véritable voie à suivre. Les investigations d'Hopkinson, de Swinburne [1] et d'autres [2] lui ont facilité la solution du double problème qu'il s'était posé : éviter ou réduire la réaction d'induit en plaçant les balais dans une position où le courant d'induit aiderait le champ, et mettre les bobines actives en court-circuit sans provoquer d'étincelles. A l'aide de bobines auxiliaires disposées entre les bobines ordinaires et les touches du collecteur, mais qui sont inactives au moment de la commutation, il injecte dans les bobines d'induit en court-circuit une force électromotrice opposée à celle qui produit les étincelles et réussit ainsi à maintenir les balais dans la position désirable.

Induits en anneau. — Varions la monotonie de l'anneau Gramme ordinaire, et cherchons

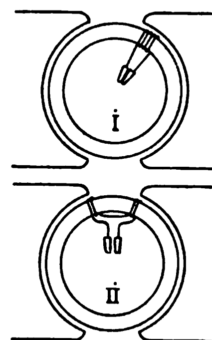


Fig. 2.

si par une petite modification on ne pourrait lui faire rendre les services voulus. Considérons un enroulement ayant, comme dans la

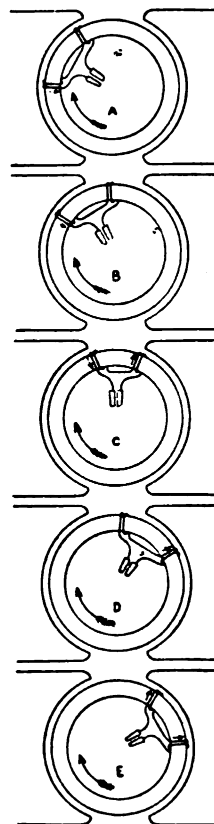


Fig. 3.

figure 2 I, 4 spires par touche du collecteur, qui constitueront un élément de l'enroulement. Disposons maintenant cet élément

(1) *Journal I. E. E.*, t. XIX, p. 90, 1890 : « Théorie de la réaction d'induit » ; *La Lumière Électrique*, t. XXXV, p. 581.

(2) Voir aussi RYAN : « Compensation des réactions d'induit », *Sibley Journal of. Eng.*, oct. 1892 ; RYAN et E. THOMPSON, *Am. I. E. E.*, 1895.

comme dans la figure 2 II, en le divisant en deux parties séparées par une distance égale à celle entre les becs polaires; le reste de l'enroulement sera disposé de même de façon à remplir, avec d'autres moitiés d'éléments,

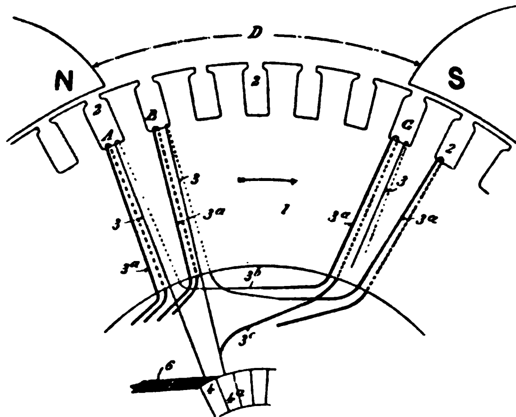


Fig. 4.

l'espace compris entre les deux parties de chaque élément. Réunissons tous les éléments en série, non exactement comme dans l'anneau Gramme, mais en faisant parcourir au courant, dans chaque moitié d'anneau, un circuit en zigzag. Les forces électromotrices s'ajoutent comme d'habitude, mais chaque élément, en passant entre les becs polaires,

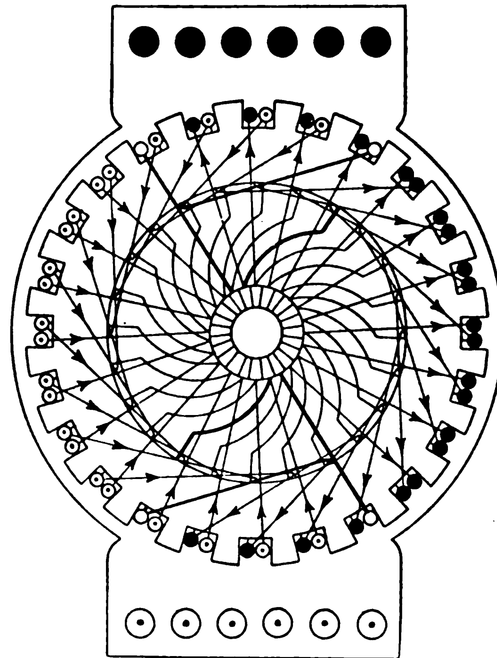


Fig. 5.

devient le siège de deux forces électromotrices opposées qui, lorsqu'elles sont égales, permettent de mettre l'élément en court-circuit sans qu'un courant y soit créé.

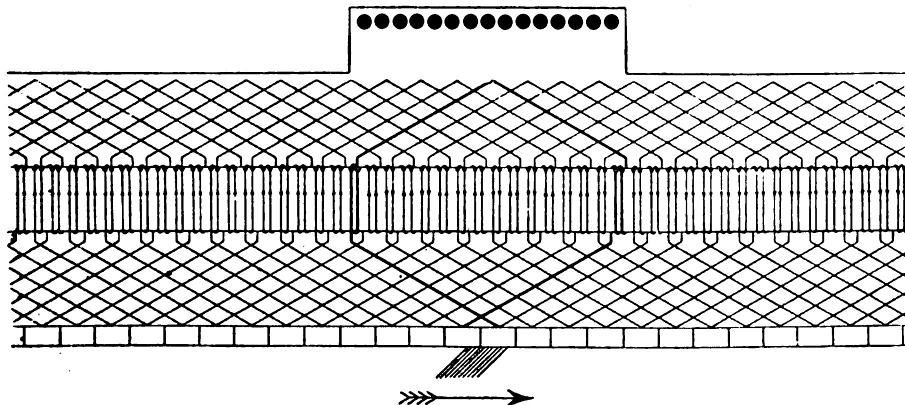


Fig. 6.

La figure 3 montre cinq positions successives d'un élément pendant une demi-révolution.

Dans la figure 4 est représenté plus clairement l'enroulement d'un élément et de parties d'autres éléments; la figure 5 est le diagramme d'un induit complet; enfin, la figure 6 représente une portion de l'induit développé en ligne droite et montre les connexions des éléments et les sens des cou-

rants. Pour le distinguer, l'élément sous le balai est dessiné en trait plus gros. L'enroulement inducteur est indiqué par de grands cercles noirs, et les petits cercles noirs ou ponctués indiquent les sens respectifs des courants d'induit. Il est important que les bobines de l'induit présentent le plus possible le sens de courant indiqué par des cercles noirs, parce que leur action est de même sens que celle du champ inducteur; du côté opposé, ce sont naturellement les cercles blancs de l'induit qui sont les plus avantageux en face des cercles blancs inducteurs. Dans la pratique, cette disposition ne donne pas un gain aussi grand que l'indique le diagramme, à cause de l'induction transversale et du petit décalage pour l'inversion du courant. La valeur relative de ce gain dépend, naturellement, de la valeur initiale de l'excitation. En se référant aux résultats mentionnés plus loin, on voit que l'on peut supprimer environ la moitié de l'enroulement inducteur ordinaire, et qu'une économie plus grande encore peut être réalisée par une diminution de l'excitation initiale.

On voit par les figures 5 et 6 que cet enroulement est symétrique, l'induit pouvant tourner dans les deux sens comme avec l'enroulement ordinaire. L'arc embrassé par l'élément sous le balai est entouré de courants de sens alternés, de sorte que cette partie de l'enroulement n'exerce pas de réaction sur le champ. On pourrait s'attendre à une certaine perte en volts, les courants dans les conducteurs de cette partie étant traversés par des courants alternativement de sens opposé et de même sens que la force électromotrice; mais cette perte n'est pas appréciable à vide, vu la petitesse des forces électromotrices près de la ligne neutre. Avec l'augmentation de la charge, on constate en comparaison avec l'enroulement ordinaire un gain marqué et rapide de force électromotrice.

Avec cet enroulement, la région de la ligne neutre n'est pas nécessairement très étroite si l'obliquité du champ est peu accentuée dans les régions occupées par l'élément sous le balai.

D'autres modes de disposition de l'élément se suggèrent d'eux-mêmes, tant en ce qui concerne la répartition des spires, que comme longueur d'arc embrassée. La figure 7 montre

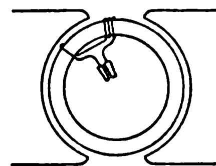


Fig. 7.

un élément de quatre spires divisées en deux parties inégales de une et trois spires, le groupe des trois pires étant en avant. Avec un tel élément, l'équilibre est obtenu à vide quand le groupe avant est dans un champ plus faible que la spire arrière, ce qui s'obtient soit en faisant l'arc embrassé plus petit que la distance entre les becs polaires, soit en disposant un entrefer plus petit au bec avant qu'au bec arrière. L'effet d'une telle division inégale sur le champ est, comme on le voit figure 8 [1], de créer une réaction qui le renforce à mesure que la charge augmente. Cette circonstance est très avantageuse en comparaison avec l'affaiblissement habituel de la force magnétisante efficace. En modifiant ainsi les proportions de l'élément, la réaction d'induit peut être appliquée au renforcement ou à l'affaiblissement du champ efficace, comme par exemple en compoundant dans un sens ou dans l'autre, suivant qu'il s'agit d'une dynamo ou d'un moteur.

En résumé, on voit que de bons résultats peuvent être obtenus par l'emploi de noyaux dentés et d'enroulements disposés de manière qu'à vide, des forces électromotrices égales et opposées soient produites dans les deux parties de chaque élément, ces éléments étant disposés pour que, pendant la plus grande partie de la révolution, les forces électromo-

[1] Il est à remarquer que dans cette figure le groupe de trois spires est en arrière, contrairement à la description. A. H.

trices s'ajoutent et qu'elles soient en opposition pendant la commutation; cette dernière ayant lieu non pas quand la bobine est dans le voisinage de la ligne neutre, mais quand elle en est éloignée. Les bobines, dans la région neutre sont disposées dans un ordre tel qu'elles soient successivement traversées par des courants de sens opposés, quel que soit le sens de leurs propres forces électromotrices, ce qui supprime toute influence sur le champ. Enfin, par une modification des proportions de l'élément, nous avons vu qu'on peut obtenir soit un accroissement, soit un affaiblissement de la force magnétisante par l'action du courant d'induit.

Des résultats ont été obtenus avec une machine du type « Manchester » à anneau denté enroulé suivant les figures 5 et 6; la puissance était environ d'un tiers plus élevée qu'avec une machine à anneau lisse dans les mêmes conditions. C'était une machine de 15 kilowatts, qui à cette charge ne s'échauffait en marche continue que de 14°. La densité de courant dans l'induit était d'environ 230 ampères par cm^2; ce faible échauffement était dû à la bonne exposition du noyau et à

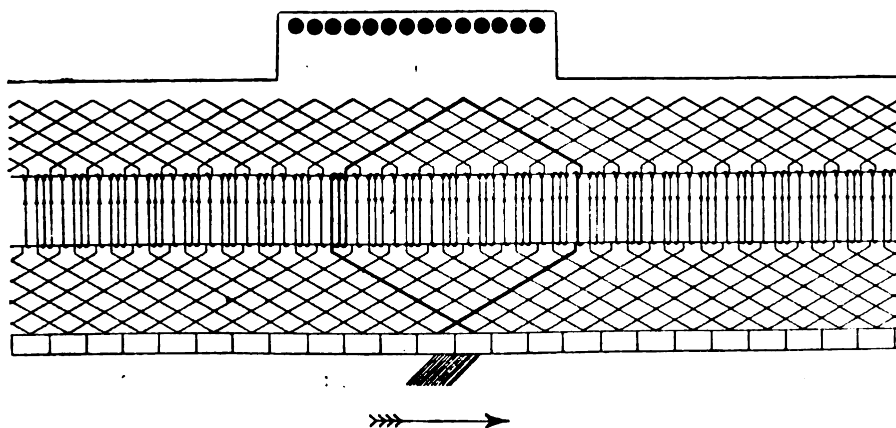


Fig. 8.

l'absence de courants parasites dans les conducteurs. L'excitation à pleine charge ne représentait qu'environ 1 p. 100 de la puissance, sans que la quantité de cuivre inducteur fût excessive. La réaction était si minime qu'il était impossible avec un réglage soigné des balais de trouver, par leur inspection, si la machine était chargée ou non, les balais conservant toujours le même calage. L'induit avait 48 fentes avec quatre spires par fente, et 48 touches au collecteur; elle tournait à 1100 tours par minute. Travaillant comme moteur avec balais fixes sous charges variables, elle a fourni des résultats équivalents aux précédents.

Induits en tambour. — L'induit en tambour présente une différence importante par rapport à l'anneau. Dans un tambour, chaque bobine ou spire est le siège de deux forces électromotrices distinctes simultanées contre une dans l'anneau Gramme. Ceci complique un peu l'étude de cet enroulement. Sous réserve de cette différence, il est toutefois évident que les principales considérations développées précédemment s'appliquent au même titre aux deux genres d'induits. Il suffit de disposer l'enroulement de façon que le cercle des conducteurs vus en section autour de l'induit présente le même ordre dans les deux cas.

Pour obtenir les mêmes effets dans un induit en tambour, on commencera par former, comme pour l'anneau Gramme, un élément au moyen de deux spires reliées en série, chacune occupant un plan diamétral ou approximativement tel, et les deux spires se croisant sous l'angle qui leur donne les

mêmes forces électromotrices relatives que dans l'anneau Gramme. Mais comme chaque spire contient deux forces électromotrices distinctes, nous remarquerons que cette façon de procéder peut être simplifiée en formant notre élément des deux moitiés de chaque spires placées dans les positions requises, c'est-à-dire que nous pouvons enrouler la spire nom suivant un diamètre, comme d'hatude, mais suivant une corde telle que ses deux moitiés satisfassent aux conditions indiquées précédemment. Ce mode d'enroulement nous donnera des résultats équivalents aux conditions réalisées dans les figures 5 et 6. Si, pour aller plus loin en cherchant à obtenir des conditions équivalentes à celle de la figure 8, nous ne pouvons trouver une corde qui donne le résultat désiré, nous pou-

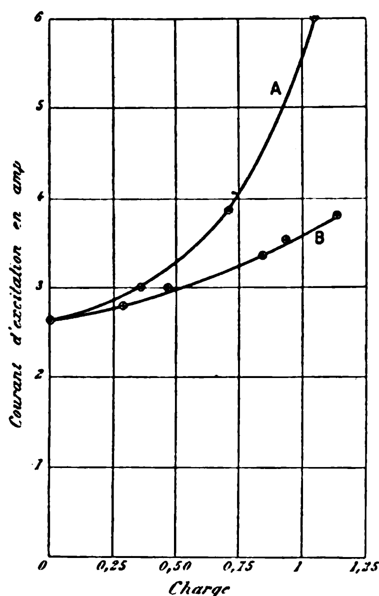


Fig. 9.

vons faire usage d'une double spire et de toute autre combinaison de spires. La figure 10_A représente un élément formé d'une corde longue ou d'un diamètre et d'une corde plus courte. La portion de l'enroulement qui se trouve entre les becs polaires présente une réaction améliorée, trois des conducteurs sur quatre agissant dans le sens du champ. C'est ce que montre la figure 10_B où les deux éléments sous les balais sont représentés en trait plein. La figure 10_C enfin est un

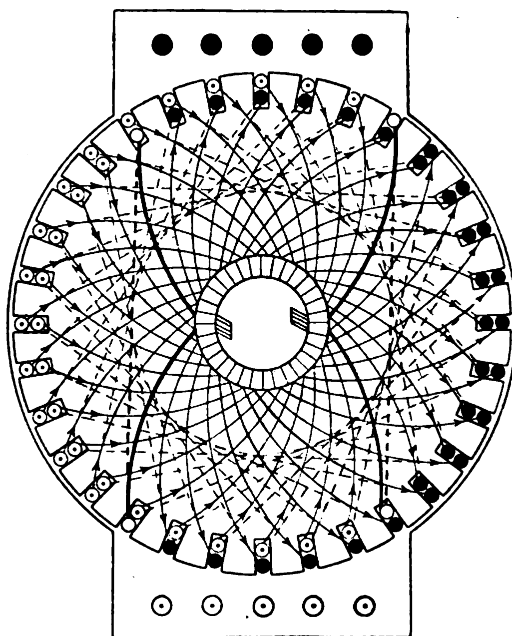


Fig. 10.

diagramme développé de cet enroulement, montrant toutes les connexions. Un induit ainsi enroulé a donné d'excellents résultats.

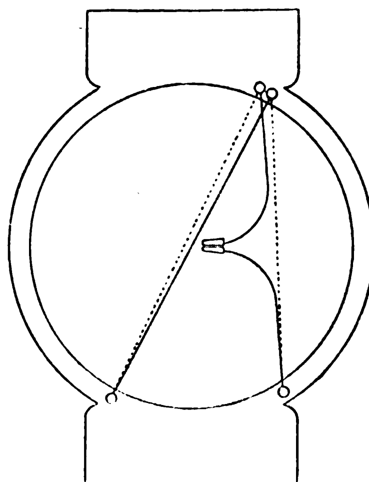


Fig. 10_A.

Mais on peut faire remarquer que les enroulements suivant des cordes ont été souvent proposés, que Swinburne en a fait usage il y a longtemps, et que le tout premier dia-

gramme élémentaire du tambour donné par le traité de Thompson représente une sorte

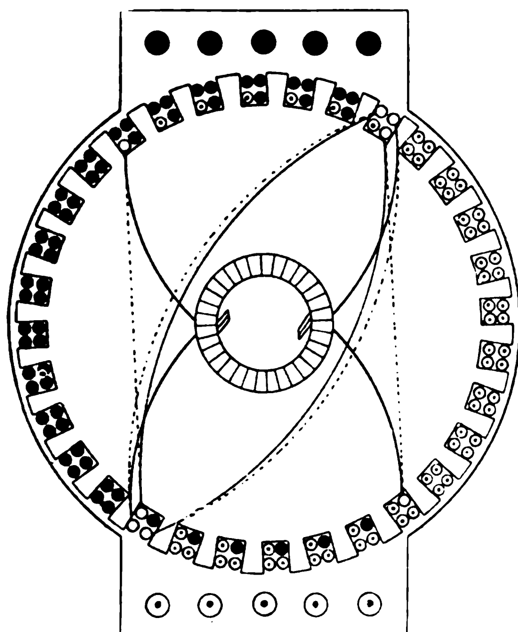


Fig. 10B.

d'enroulement à cordes ; on peut dire encore que les tambours dentés sont bien connus et employés depuis longtemps, puisqu'ils sont aussi anciens que la machine magnéto elle-même. La combinaison de ces deux dispositions ne parait même pas devoir présenter des avantages encore inconnus, car la concurrence les aurait certainement mis en lumière. Mais il est possible que la nature compliquée du mal ait empêché la recherche d'un remède simple.

Nous terminerons cette partie de notre étude par un compte rendu des résultats obtenus en modifiant, dans la direction indiquée, une dynamo à tambour denté. La machine en question a été fournie à l'état neuf par une maison de construction bien connue du Continent. Elle devait donner nominalement 15 kilowatts à 1 050 tours par minute.

Sa caractéristique est représentée par la courbe A (fig. 9), qui donne le courant d'excitation en fonction de la charge à voltage et vitesse constants. Les balais crachaient même aux faibles charges, il n'y avait pas de position sans étincelles, et les volts variaient beaucoup pour un petit déplacement des balais. L'enroulement fut refait avec un fil de même section et avec le même nombre de spires. L'induit comportait 32 fentes à

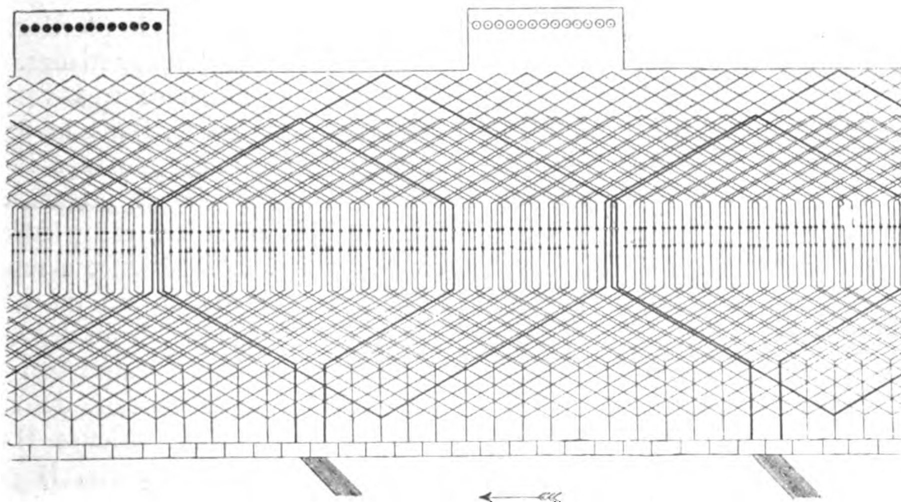


Fig. 10C.

quatre conducteurs et 32 touches. La figure 10 montre l'enroulement tel qu'il fut réalisé. En conservant le même entrefer, on a obtenu la courbe B (fig. 9). La commutation était alors excellente; à pleine charge, l'excitation était réduite à 72,5 p. 100 en ampères, et à

44 p. 100 en watts, de l'ancienne valeur. La variation des volts pour un déplacement donné des balais était quatre fois moindre ; le décalage à pleine charge, initialement de 67,5°, n'était plus que de 12,5°. La machine ainsi modifiée serait dont considérée comme satisfaisante sous tous les rapports, tandis qu'elle ne pouvait passer auparavant pour une machine de premier choix.

Contrairement à ce qu'on pourrait croire, cet enroulement est plus simple et moins coûteux que l'enroulement diamétral. Celui que représente la figure 10, par exemple, est plus court que celui qu'il remplace. Il est plus facile à enrouler et les calottes terminales occupent moins de place. De plus, l'espace central non couvert est utile pour la ventilation.

Comme longueur et facilité de confection, les enroulements, figures 10_A, 10_B et 10_C, sont intermédiaires entre l'enroulement ordinaire et celui de la figure 10.

Balais et commutation. — L'importance d'une bonne commutation rend utile d'étudier non seulement les conditions principales, mais encore les effets accessoires qui peuvent l'affecter. On peut construire les dynamos si soigneusement que la formation d'étincelles est rendue presque impossible en toute circonstance. Mais elles sont alors coûteuses, et nous devons essayer de combattre toutes les causes d'étincelles pour arriver à des procédés moins dispendieux.

Peu de choses sont aussi mal définies que les phénomènes qui se passent dans la région de la ligne neutre. On admet généralement que cette ligne de meilleure commutation est bien déterminée par des conditions dépendant des ampères-tours et du courant, de l'intensité de champ, et ainsi de suite ; c'est-à-dire que pour une machine donnée, sous une charge donnée, l'angle de décalage est bien défini, et ne peut être changé que par des modifications dans la construction de la machine, comme par exemple par une augmentation de l'entrefer ou des surfaces polaires. En réalité, il est très possible de décaler le diamètre de commutation sans toucher à la structure de la machine, non seulement pour décaler les balais en arrière, mais encore pour obtenir dans la nouvelle position un meilleur fonctionnement que dans la première.

Parmi les actions nombreuses et compliquées qui se produisent sous le balai, on en distingue une dont l'effet sur l'angle de décalage est important, c'est l'intensité du courant circulant en court-circuit. Dans la bobine arrivant sous le balai le sens préexistant du courant est maintenu, puis le courant s'annule, et finalement, la bobine dépassant le balai, le courant est rétabli, mais dans le sens opposé. On voit par la figure 11 que ce

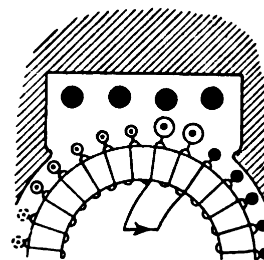


Fig. 11.

courant de court-circuit peut augmenter d'une façon très appréciable la réaction d'induit en renforçant l'effet démagnétisant. L'intensité de ce courant peut être très variable d'une machine à une autre. Dans la figure 11 les deux grands cercles ponctués indiquent un courant de court-circuit intense qui combat l'action du courant inducteur indiqué par des cercles noirs. L'expérience a montré qu'en amoindrissant ce courant on peut réduire considérablement l'angle de décalage.

Même dans une dynamo qui fonctionne sans étincelles, ce courant de court-circuit peut avoir une valeur sérieuse. Il est nuisible sous une foule de rapports. Il produit une perte d'énergie dans le court-circuit et dans l'enroulement inducteur qu'il faut augmenter pour en combattre l'effet. Il réduit la puissance en resserrant la région sans étincelles, en augmentant la chute de potentiel, et oblige à employer des balais et des collecteurs plus

larges qu'il ne serait autrement nécessaire.

Ce courant de court-circuit peut être combattu par une force contre-électromotrice ou par une résistance ; le premier moyen entraîne des modifications de construction.

Résistance dans les fils connecteurs. — On peut amoindrir le courant dans la bobine en court-circuit en insérant une résistance par exemple dans le fil allant au collecteur. Comme cette résistance n'est en circuit que pendant la commutation, on peut la faire grande par rapport à la résistance de la bobine, mais petite par rapport à celle de l'enroulement entier. Mais ce procédé, tout en ayant un effet sensible sur la réaction d'induit, n'empêche pas sensiblement les étincelles. Pour rompre un circuit sans étincelle, il faudrait en effet introduire la résistance graduellement et ouvrir le circuit au moment où elle est maxima. Ce n'est pas ce qui a lieu dans le cas considéré.

Résistance dans les balais. — Un expédient simple permet de produire à l'aide des balais eux-mêmes l'effet désiré. Un balai ordinaire réunit les touches adjacentes par une résistance très faible. On peut augmenter cette résistance en sectionnant le balai dans le sens longitudinal, ce qui ne change pas sensiblement la résistance pour le courant principal (fig. 12). Comme le contact s'établit par la face intérieure du balai et se rompt à l'extrémité de la face supérieure, on peut, en établissant un bon contact à la première et en interposant au contraire une lame isolante entre la dernière et la plaque de serrage, faire que la résistance transversale du balai aille en croissant. La figure 12 montre comment des balais de ce genre peuvent être constitués. Les lames peuvent être en cuivre ou en charbon ; dans ce dernier cas, l'isolant qui les sépare peut servir en même temps de ciment.

Les balais en charbon ont été proposés par Forbes [1]. Leurs bonnes qualités ont été attribuées au moindre frottement contre le collecteur et à quelque propriété particulière facilitant le passage du courant par la surface de contact. Leur succès est probablement simplement dû à leur grande résistance, qui leur permet de combattre l'effet dont il vient d'être parlé.

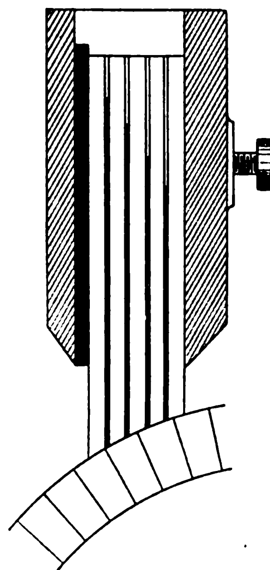


Fig. 12.

Une objection contre l'emploi des balais en charbon, c'est qu'en raison même de leur grande résistance ils doivent avoir une section plus grande que les autres balais, la densité de courant n'y devant pas dépasser 12 à 15 ampères par centimètre carré. Au-dessus de cette densité le charbon chauffe. D'ailleurs, la circulation du courant transversal rend peut-être la densité de courant inégale à la surface de contact. Pour cette raison des balais constitués comme il vient d'être dit admettraient peut-être une plus grande densité de courant.

Effort exercé sur les conducteurs noyés. — On a discuté à différentes reprises la question de savoir si la traction mécanique s'exerce directement sur les conducteurs lorsque ceux-ci sont placés à une certaine profondeur dans le fer, ou si elle est supportée par le fer lui-même. Il est naturellement admis que le

[1] Brevet anglais n° 1288, 1885.

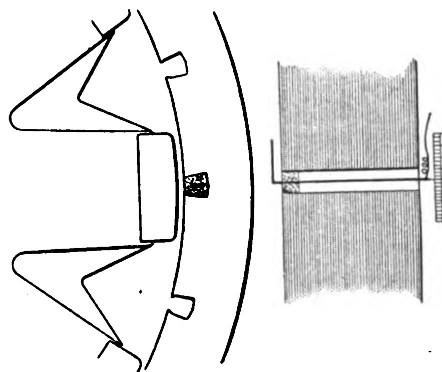
support des conducteurs par les dents rend les induits dentés mécaniquement supérieurs aux induits lisses. Mais beaucoup de gens compétents soutiennent que là s'arrête leur avantage, et que les dents poussent les conducteurs qui s'appuient sur elles par l'intermédiaire de la matière isolante et qui sont soumis au couple. S'il en est ainsi, la fixation solide des conducteurs dans les fentes serait importante afin d'éviter l'écrasement de la matière isolante.

Dans cette question réside un considérable intérêt à la fois théorique et pratique. Les contructeurs de machines ont eu à souffrir de ce désavantage sérieux d'avoir à employer pour leurs constructions mécaniques des matériaux très peu mécaniques. Il est probable que tout ingénieur-électricien a éprouvé un sentiment de respect devant une locomotive remorquant un train lourd sur une forte rampe, ou devant un express passant à toute vitesse, et qu'il a songé aux difficultés à vaincre si ce travail devait être accompli par l'intermédiaire d'une traction exercée sur un conducteur en cuivre couvert de coton et fixé par de la corde de piano sur un tambour couvert de papier gomme-laqué et de mica. Le caractère non mécanique des isolants a toujours paru un obstacle.

Mais si les conducteurs noyés ne sont pas soumis à un effort, tout cela est changé. Nous n'avons plus alors à envier l'ingénieur-mécanicien puisque nous aussi pouvons unir métal à métal et obtenir de bons joints mécaniques et concentrer les efforts sur le fer et l'acier de nos machines. Les enroulements ne présentent alors aucune difficulté mécanique.

A en juger par quelques publications très récentes, ce point présente toujours quelque incertitude évidemment due à l'absence de preuves expérimentales. L'auteur décrit les expériences qu'il a faites à ce sujet.

Les essais ont été faits sur un alternateur à induit denté fixe et inducteur mobile avec projections polaires de polarité unique. La disposition employée est représentée par la figure 13. Une des bobines de l'induit était enlevée, et dans la fente vide était placé un conducteur formé d'une bande de cuivre de 2,5 cm sur 0,25 cm encastrée à une extré-


Fig. 13.

mité et libre à l'autre. L'extrémité libre était reliée au circuit par un conducteur flexible et portait un index mobile sur une échelle fixe. La bande était en série avec quatre des bobines de l'induit, avec un électrodynamomètre Siemens et un circuit extérieur non-inductif.

Les expériences suivantes ont été effectuées :

1. La machine tournait d'abord à 25 périodes par seconde sans aucune charge exceptée celle des quatre bobines et du conducteur d'expérience (l'induit comportait en tout 20 bobines). La position de l'index fut notée. Puis on fermait le circuit et on réglait l'intensité à 200 ampères. Le conducteur vibrait alors d'une façon très perceptible, la déviation moyenne de l'index était d'environ 2 mm.

La machine fut arrêtée et le conducteur chargé d'un poids appliqué au milieu de la partie libre (qui avait 25 cm de longueur); il fallait 225 gr pour produire la déviation de 2 mm.

Le calcul donné plus loin montre que l'effort total existant correpondait à 2 150 gr, le conducteur n'était donc soumis dans cette expérience qu'au dixième de l'effort total.

2. La machine étant au repos avec une pièce polaire en face de la fente, comme dans la figure 13, et le champ étant excité, un courant continu de 200 ampères fut lancé

dans le conducteur : la déviation fixe obtenue était de 3 mm, c'est-à-dire un peu plus grande que dans le cas précédent.

On savait que 25 cm de conducteur donnaient dans cette machine 1,38 volts à la fréquence de 25 périodes par seconde. En admettant qu'il n'y avait pas de décalage, la puissance était donc :

$$200 \text{ amp} \times 1{,}38 \text{ volts} = 276 \text{ watts} = 28 \text{ kgm : sec.}$$

La vitesse linéaire dans l'entrefer étant de 13 m par seconde, l'effort total est de :

$$\frac{28}{13} = 2{,}15 \text{ kg.}$$

La comparaison de l'effet du couple avec celui d'un poids est basée sur l'hypothèse de la rigidité absolue du conducteur, tandis qu'en réalité il est légèrement courbé sous l'effort; mais l'erreur ainsi introduite est sans importance.

Il est à noter qu'en travail normal le courant dans chaque conducteur de l'enroulement est de 80 ampères, et que le nombre d'ampères-tours dans chaque fente est environ 12 fois plus grand que dans l'expérience précitée.

Ces expériences paraissent confirmer entièrement l'idée que dans les induits dentés le couple est supporté par les dents et non par les conducteurs [1].

Excitation par l'induit. — Avec des balais décalés en avant, le courant induit est d'action opposée à celle du courant inducteur. Mais, à vide, l'effet inverse a lieu sous certaines conditions.

Considérons une dynamo tournant à vide. Si les balais ont un petit décalage comme dans la figure 14 A, le courant circulant dans les bobines en court circuit est de sens tel qu'il soutient le champ. De plus, si un balai embrasse plusieurs touches, comme dans la figure 14 B, ce courant favorable au champ inducteur peut traverser non seulement les bobines en avant de la ligne neutre, mais

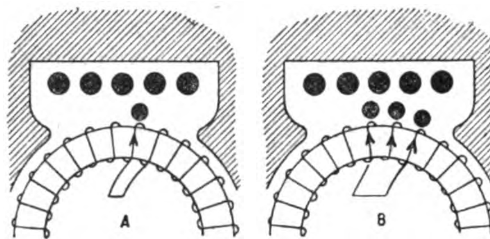


Fig. 14.

encore quelques-unes des bobines en arrière de cette ligne. Pour atteindre ce dernier résultat, il suffit que le court circuit englobe une plus grande portion de l'enroulement en avant qu'en arrière de la ligne neutre; la force électromotrice des bobines avant est alors supérieure à celle des bobines arrière et peut envoyer dans ces dernières un courant contraire à leur force électromotrice. Il est également évident que les bobines en arrière de la ligne neutre mises en court circuit, produisent un courant démagnétisant qui peut d'une manière analogue être étendu en avant de la ligne neutre. L'accroissement d'excitation que l'on peut obtenir de cette façon est considérable. Il a été trouvé facile d'élever de 20 à 25 p. 100 le voltage d'une dynamo ordinaire. On peut obtenir momentanément un augmentation bien plus grande, mais l'expérience n'a pu être continuée à cause des étincelles excessives qui se produisaient.

Cet effet est exactement l'inverse de celui qui a été étudié au paragraphe intitulé « Balais et commutation », mais les deux effets ne sont nullement contradictoires. Dans l'un des cas, c'est le courant de travail en arrière du balai et sa continuation sous le balai qui s'oppose à l'action de l'enroulement inducteur. Dans l'autre, c'est le courant en avant du balai qui assiste le champ.

Mentionnons ici une différence intéressante entre les deux parties du circuit magnétique d'une dynamo. Une expérience faite avec une dynamo Gramme à inducteur

[1] L'auteur cite ici un passage d'un article de Swinburne qui explique ce fait par la moindre densité du champ existant dans les fentes que les lignes de force traversent plus rapidement que les dents elles-mêmes.

simple a montré qu'après avoir augmenté le voltage en plaçant un balai large à la partie supérieure du collecteur, on n'obtient pas de nouvel accroissement quand on met un balai semblable à la partie inférieure. La figure 15 montre deux formes d'inducteur

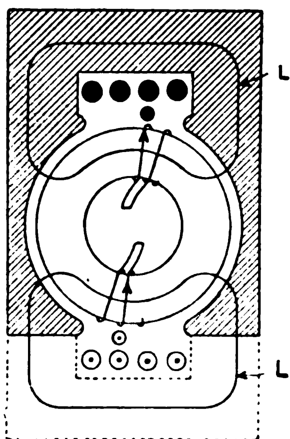


Fig. 15.

en simple et en double fer à cheval. Dans la première, le courant induit agit dans la partie supérieure sur un circuit magnétique tel que L qui comprend dans sa plus grande partie du fer. A la partie inférieure, au contraire, la ligne L' effectue son parcours principalement dans l'air et l'action du courant n'y est donc pas aussi grande. Cette différence est naturellement d'autant plus marquée que l'entrefer est plus petit.

Dans un inducteur en double fer à cheval les effets sont symétriques.

Les effets de ce genre s'observent le plus facilement avec l'anneau Gramme, dans lequel le court circuit produit par le balai est confiné à une portion bien définie de l'anneau. Dans un tambour, la bobine en court-circuit passe autour de l'induit ce qui rend plus difficile la séparation des deux effets.

Ces considérations qui ne sont données que pour illustrer un effet de la réaction d'induit, pourront peut-être conduire à quelque résultat pratique utile.

Inducteurs internes. — La considération d'enroulements capables de réduire l'excitation et l'appréciation du véritable rôle des inducteurs font revivre l'intérêt que présentent les inducteurs internes préconisés par les professeurs Ayrton et Perry (¹). Il y a maintenant bien des choses à dire en faveur de ces dispositions. Dans ces machines, l'induit et le collecteur étaient fixes, tandis que les balais et l'inducteur interne en forme de navette tournaient. Si l'on a quelque hésitation à revenir à cette disposition, c'est que l'on est accoutumé aux balais fixes et réglables en marche. Mais il ne serait pas sage de trop sacrifier à cet avantage, dont l'importance est bien diminuée depuis que les machines fonctionnent sans étincelles. On peut d'ailleurs citer l'exemple des moteurs de tramways dont les balais ne sont l'objet d'aucune surveillance pendant la marche.

Les inducteurs internes ont été très employés sur le Continent, mais ces inducteurs sont fixes. Siemens et Halske ont fait d'excellentes machines de ce type. Habituellement, la partie extérieure de l'induit sert elle-même de collecteur, mais quelquefois on ajoute un collecteur séparé. Ce type est actuellement plus spécialement approprié aux grandes puissances, à cause de la difficulté de ménager dans les petites machines un espace suffisant pour loger l'inducteur; cette difficulté disparaît jusqu'à un certain point quand l'enroulement excitateur et la section du noyau peuvent être réduits. A. H.

Sur les dynamos, discussion de la communication de M. Mordey (²).

Nous résumons ci-après la discussion dont l'étude de M. Mordey a été l'objet au sein de l'Institution of Electrical Engineers.

M. S.-P. Thompson rappelle qu'il a eu fréquemment l'occasion de discuter avec M. Mordey la question de ce qu'il appelle le

(¹) *Journal I. E. E.*, t. XII, p. 335, mai 1883.

(²) Voir plus haut, p. 111.

« compoundage transversal ». Ils ont examiné un enroulement compound dont la partie en série était placée non sur les inducteurs, mais autour de l'induit d'un pôle à l'autre et exerçant par conséquent une action opposée à l'aimantation transversale de l'induit. Avant que ces essais de compoundage transversal fussent amenés à un résultat pratique, le professeur Ryan réalisa une disposition du même genre (¹) en plaçant l'enroulement compensateur dans des rainures entaillées dans les pièces polaires.

Avec un enroulement compensateur, il est possible de donner aux balais un calage fixe en modifiant suivant la charge l'action de cet enroulement; cela revient à remplacer le décalage variable des balais par un décalage du champ résultant obtenu en shuntant plus ou moins le courant passant dans l'enroulement transversal. A la régulation mécanique, on substitue ainsi une régulation électrique.

Mais en tête de ces méthodes vient celle de Sayers consistant dans l'emploi de bobines commutatrices ajoutées à l'enroulement de l'induit. M. Mordey suit dans le même ordre d'idées, en se servant du courant induit lui-même pour obtenir la compensation et assurer le calage fixe des balais. La simplicité de sa disposition est intéressante à constater; elle consiste dans une modification très simple de l'anneau Gramme.

La preuve expérimentale, fournie par M. Mordey, de la faible valeur des efforts exercés sur un conducteur enfoui à une certaine profondeur entre les dents de l'induit est très intéressante. Si M. Mordey trouve que dans son cas cet effort n'est réduit qu'au dixième, c'est que la protection magnétique offerte par les dents n'était pas complète. En faisant les rainures de plus en plus profondes et plus étroites, on arriverait certainement à rendre l'effort sur le conducteur absolument négligeable.

M. G. Adams constate que l'étude de M. Mordey est une condamnation de l'induit à noyau lisse. Il fournit un nouvel exemple de l'économie de matériaux à laquelle conduit l'induit à noyau denté en montrant le dessin d'une dynamo Sayers à noyau denté à côté de celui d'une dynamo à noyau lisse dont les inducteurs sont plus lourds pour une même dimension d'induit.

M. W.-B. Sayers a étudié l'enroulement proposé par M. Mordey et déclare qu'il ne lui voit pas d'avantage, si ce n'est pour les machines très petites. Il croit que l'étude de la machine qui a servi aux expériences de M. Mordey révélerait les raisons qui, dans ce cas particulier, ont rendu la modification de la machine avantageuse.

M. Mordey dit qu'en divisant une bobine en deux parties comme dans sa figure 4, il obtient des forces électromotrices opposées dans la bobine et annulle ainsi les étincelles. Ceci est parfaitement juste tant qu'il n'y a pas de courant dans l'induit. La force électromotrice dans les deux spires arrière, par exemple, compense exactement celle des deux spires avant, pourvu que les balais soient calés exactement entre les deux pôles; et tant que le courant est négligeable, c'est-à-dire sous faible charge, il ne se produira évidemment pas d'étincelles. Mais dès que la machine est chargée, en admettant que l'induit tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, le bec polaire gauche est renforcé et le bec de droite affaibli. Or, malheureusement pour la disposition de M. Mordey, c'est ce dernier, c'est-à-dire le bec polaire avant, qui doit produire l'inversion de courant pour la commutation. Il semble impossible de commuter avec le bec arrière. La force électromotrice s'y produit dans le mauvais sens, et aucun mode d'enroulement ne peut la retourner.

Si, par exemple, on enroule une spire dans un sens et l'autre dans le sens contraire, les forces électromotrices se neutralisent et la machine ne donne pas de courant. Si l'on divise la bobine en deux parties égales, la résultante agit dans le mauvais sens, le bec polaire arrière est renforcé et celui qui doit produire l'inversion est affaibli. Les forces

(¹) *La Lumière Électrique*, t. L, p. 307.

électromotrices ne se compensent donc plus, et au lieu d'une force électromotrice positive, on a une petite force électromotrice négative. Si les balais sont décalés en avant pour soustraire les bobines au bec arrière et opérer l'inversion avec le bec polaire avant, la commutation peut se faire, mais les actions favorables sont réduites de moitié.

M. Sayers trouve que M. Mordey exagère lorsqu'il dit que la dixième partie de la puissance actuellement employée pour l'excitation suffirait pour aimanter le circuit magnétique. Suivant sa propre expérience, 50 à 70 p. 100 de la force magnétisante sont absorbés par l'entrefer qui ne peut pour des raisons d'ordre mécanique être rendu très petit.

La figure 1 se rapporte à une machine

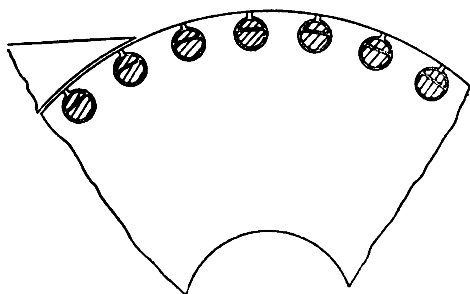


Fig. 1.

ayant le plus petit entrefer que M. Sayers ait jamais employé. Cet entrefer est de 1 mm, et le champ y est relativement faible, la machine étant employée comme transformateur moteur. La machine ne pourrait sans doute pas fonctionner avec un champ très intense pour la simple raison que la moindre inégalité de l'entrefer des deux côtés de l'induit produirait un effort magnétique énorme; et, à moins que toutes les parties soient extrêmement rigides, l'attraction est si considérable que l'induit pourrait s'excentrer et se coller aux faces polaires. Pour des machines de dimensions moyennes, des entrefers de 0,4, 0,6, 1 et 1,3 cm peuvent être employés. La figure 2 représente par exemple une partie d'une machine de 270 kilowats actuellement en fonction; l'entrefer y est de 1 cm. Dans quelques machines bipolaires à petite vitesse d'environ 380 kilowatts actuellement en construction l'auteur donne à l'entrefer une largeur de 1,3 cm.

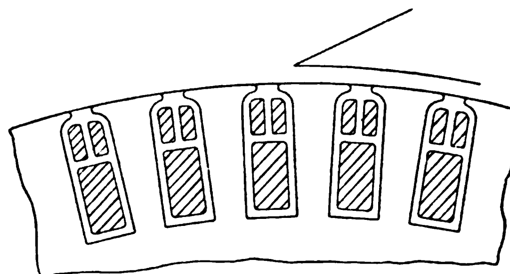


Fig. 2.

Il est d'ailleurs important que l'entrefer soit dans un certain rapport avec la largeur de la fente à son sommet. Si cette dernière est trop grande, des courants parasites sont engendrés dans les pôles des inducteurs; par conséquent, si l'on veut employer un petit entrefer, la fente doit être presque fermée comme dans la figure 2. Mais la continuité du fer autour du conducteur entraîne la nécessité d'un réglage très minutieux des balais; la moindre erreur de réglage fait cracher les balais. Dans ses machines récentes, M. Sayers a adopté des fentes à faces parallèles dont certaines sont occupées par les conducteurs formant ses bobines commutatrices. Il trouve que l'on peut sans inconvénient faire affleurer le conducteur à la périphérie de l'induit. Il est moins avantageux de placer plusieurs conducteurs dans la même fente que d'affecter une fente à chaque conducteur; la commutation se fait moins bien. La force électromotrice de self-induction varie en effet presque comme le carré du nombre de conducteurs. La self-induction du conducteur placé au fond est plusieurs fois plus grande que celle des conducteurs placés au-dessus de lui; mais on peut éviter la proportionnalité au carré en distribuant les conducteurs formant une section de l'enroulement entre un certain nombre de fentes, comme le montre la figure 3. Dans cette figure, les conducteurs indiqués en noir sont ceux que les balais mettent simultanément en court-circuit.

Dans une communication ultérieure, M. Sayers reconnaît certains avantages à la disposition de M. Mordey. Il fait remarquer qu'en

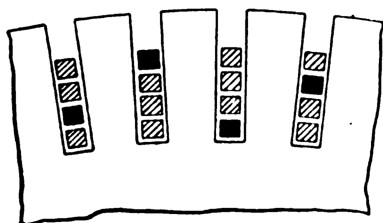


Fig. 3.

partageant une bobine de quatre spires en deux moitiés placées dans des fentes différentes, on divise la self-induction par deux, mais on réduit en même temps dans le même rapport la puissance disponible pour effectuer l'inversion. Toutefois, le bec polaire avant étant renforcé dans la disposition Mordey, celle-ci présente donc un avantage sur l'enroulement ordinaire.

M. J.-S. Raworth annonce que la Compagnie Brush ayant reconnu les avantages économiques du perfectionnement Mordey a acquis une licence d'exploitation du brevet.

M. E.-K. Scott croit que l'enroulement Mordey doit exiger plus de fil que l'enroulement ordinaire et par conséquent donner lieu à une plus grande perte par effet Joule. Il pense aussi qu'il doit demander plus de main-d'œuvre.

Il a été fait allusion par M. Mordey aux machines à inducteurs internes mobiles. On en a construit un grand nombre, et différentes maisons en ont reconnu les avantages économiques. L'auteur donne des diagrammes montrant l'économie de cuivre et de fer assez considérable que procurent ces machines.

M. Scott rappelle que pour combattre la réaction d'induit il existe un moyen préconisé depuis longtemps par le professeur Thompson. Ce moyen consiste à fendre le pôle de l'inducteur dans un plan perpendiculaire aux tôles de l'induit. La Compagnie américaine Walker l'emploie dans ses grandes machines multipolaires. On peut aller plus loin et lameller les pièces polaires dans le sens normal aux tôles de l'induit; le circuit magnétique transversal est ainsi très résistant. Ce procédé ne serait pas plus coûteux que les modifications proposées de l'enroulement.

En fait de balais divisés, M. Scott en indique une forme très simple. On les confectionne avec des bouts de crayons à arc liés en faisceau autour duquel on coule à une extrémité de l'alliage typographique.

M. H.-A. Mavor fait également remarquer que ce ne sont ni les étincelles ni l'échauffement qui limitent l'étroitesse de l'entrefer dans les machines à noyau denté. On est limité par l'attraction magnétique que le plus petit défaut de symétrie dans la construction peut aggraver au point que l'arbre ni les inducteurs ne puissent être faits assez rigides pour y résister. On ne se rend pas toujours compte de l'importance de ces efforts mécaniques, ni de la grandeur de la déformation élastique que peuvent subir les inducteurs.

En ce qui concerne l'enroulement proposé par M. Mordey il est évident par l'inspection des diagrammes qu'il ne peut s'appliquer aux induits n'ayant qu'une spire par section ; or, c'est précisément dans les grandes machines qu'il pourrait rendre des services.

M. Crompton prévoit des difficultés de réalisation de l'enroulement Mordey pour les grandes machines, tandis que pour les petites machines il croit très possible que les résultats annoncés puissent être atteints. Quant aux inducteurs tournants qui impliquent des balais tournants, l'inconvénient principal réside dans l'impossibilité d'opérer aucun réglage en marche.

M. C.-C. Hawkins constate que l'action inversante est due entièrement aux spires avant de chaque bobine, et que la seule différence qui existe entre cette disposition et celle d'une dynamo ordinaire, c'est qu'elle comporte en outre des spires décalées en arrière dans lesquelles est engendrée une force électromotrice de même sens qu'avant l'inversion. Donc, si la machine de M. Mordey ne crache pas, elle le ferait encore bien moins si les spires de chaque bobine étaient réu-

nies et réduites à l'enroulement ordinaire. En réalité, il doit se produire dans ces machines quelque phénomène ignoré qui combat la production d'étincelles et qu'il serait intéressant de rechercher et de faire connaître.

A l'encontre du dispositif Sayers, celui de M. Mordey ne renforce pas automatiquement l'action inversante à mesure que la charge augmente ; on doit donc se trouver dans l'obligation de décaler les balais.

M. Hawkins a également constaté par expérience les déformations que subit l'arbre de l'induit dans les machines à petit entrefer.

Le professeur Jamieson appelle l'attention sur un acier fondu au nickel qui présente des propriétés magnétiques remarquables. Il en donne la courbe d'aimantation qui se rapproche beaucoup de celle de l'échantillon type étudié par Ewing.

M. Jamieson trouve que certains constructeurs français sont bien en retard ; il a constaté sur une machine de l'ancien type Schuckert, fournie par une grande maison française, une température en marche de 90°.

M. R.-W. Weekes indique un procédé dû à M. R. Lundell, de New-York, pour réduire la réaction d'induit et qui s'applique principalement aux dynamos multipolaires. Il consiste (fig. 4) à diviser l'inducteur en

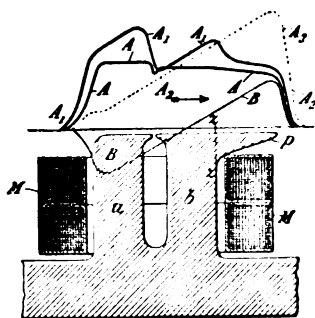


Fig. 4.

deux noyaux *a* et *b* dont le second présente un épanouissement polaire deux fois plus grand que le premier. Le noyau *b* se trouve ainsi saturé à vide et s'oppose à l'aimantation transversale. A mesure que la charge augmente, l'excitation série n'accroît l'induction que dans le noyau *a*, ce qui a précisément pour effet de combattre la réaction. Les courbes d'induction tracées au-dessus des faces polaires expliquent ces actions ; AA est la courbe de l'induction dans l'entrefer à vide ; BB montre l'induction transversale dans la disposition habituelle des inducteurs ; A_2A_2 est la résultante de ces deux courbes. La courbe finale A_1A_1 montre la distribution de l'induction à pleine charge avec le nouveau type d'inducteur.

M C.-H. Gadsby suggère un mode d'enroulement qui permet d'éviter les connexions supplémentaires nécessaires dans la disposition Mordey. Au lieu d'enrouler les bobines en deux parties, il semble préférable de disposer les conducteurs sous un certain angle par rapport à l'axe, comme l'indique la droite *ab* (fig. 5). Les tôles seraient alors dé-

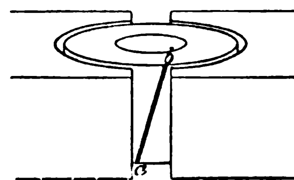


Fig. 5.

calées les unes par rapport aux autres pour donner aux fentes l'inclinaison voulue. On pourrait encore, dans le même but, enrouler les conducteurs comme d'habitude, mais couper les pièces polaires en biais (fig. 6).

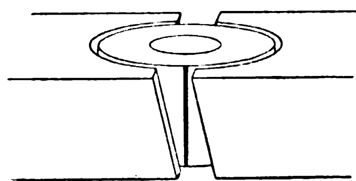


Fig. 6.

M. Evershed fait remarquer que cet artifice a déjà été proposé par M. Atkinson, en 1890, lors de la discussion des mémoires de MM. Swinburne et Esson.

Lord Kelvin explique par un schéma pourquoi les efforts mécaniques s'exercent sur les

dents et non sur les conducteurs de l'induit denté (¹).

A propos de l'expérience de M. Mordey à ce sujet, il rappelle que le poids appliqué au conducteur devrait être uniformément réparti sur toute sa longueur et qu'en vertu de la flexibilité du conducteur, la déviation serait plus grande que celle produite par un poids égal appliqué au milieu. Pour éviter cette cause d'erreur, il suffirait de prendre une barre rigide, montée à ses deux extrémités sur des ressorts.

M. G. Kapp admet que l'enroulement Mordey permet d'augmenter la puissance spécifique des machines, mais dans une proportion moindre que ne l'indique son auteur. Il se déclare non convaincu par l'expérience de M. Mordey sur le siège des efforts entre induit et inducteurs, il est en effet nécessaire de savoir si le décalage entre la force électromotrice et le courant était négligeable dans cette expérience.

M. Swinburne a employé, il y a une dizaine d'années, un enroulement en tous points semblable à celui de M. Mordey, mais il ne l'avait pas appliqué aux induits dentés et cherchait principalement à combattre la réaction d'induit sans y voir spécialement un moyen de prévenir les étincelles. Il est de l'avis de M. Mordey en ce qui concerne les avantages des noyaux dentés. Pour s'expliquer l'absence d'efforts mécaniques sur les conducteurs, il suffit, dit-il, de se rappeler que la force est proportionnelle au produit du champ par le courant; elle est nulle lorsque ce dernier est nul, comme c'est le cas à l'intérieur des fentes d'un induit; et l'effort s'exerce sur les dents où l'induction est renforcée d'un côté et affaiblie de l'autre côté du conducteur par le courant qui circule dans ce dernier.

(¹) Nous ne reproduisons pas ici ce schéma. Il suffit de remarquer que dans l'enroulement ordinaire le champ circulaire créé autour de chaque conducteur ne s'appuie en quelque sorte que sur ce dernier. Dans un induit denté au contraire, le champ circulaire est formé dans la masse des dents qui enserrent le conducteur et dont il polarise les surfaces extérieures; les efforts doivent donc s'exercer entre celles-ci et les pôles des inducteurs. A. H.

Les balais sectionnés ne sont nécessaires que pour la captation de courants de grande intensité qui nécessitent une grande surface de contact. On peut aussi se servir de plusieurs balais décalés entre eux d'un petit angle et dont les conducteurs ne se rejoignent qu'à une certaine distance du point de contact.

M. A.-H. Finlay a songé à des dispositions analogues à celles proposées par M. Gadsby dans les figures 5 et 6.

M. S.-G. Brown, dans une série d'essais faits aux ateliers de la maison Crompton, est arrivé à une solution identique avec celle de M. Mordey; il décrit quelques-unes de ses expériences.

L'une des machines, de 4,5 kilowatts, à inducteurs shunt, avait un induit en tambour denté avec un enroulement ordinaire de 44 sections à 3 spires. L'entrefer était de 2,5 mm. A la vitesse angulaire de 1 140 tours par minute, sa caractéristique est représentée par la courbe A de la figure 7. La chute de

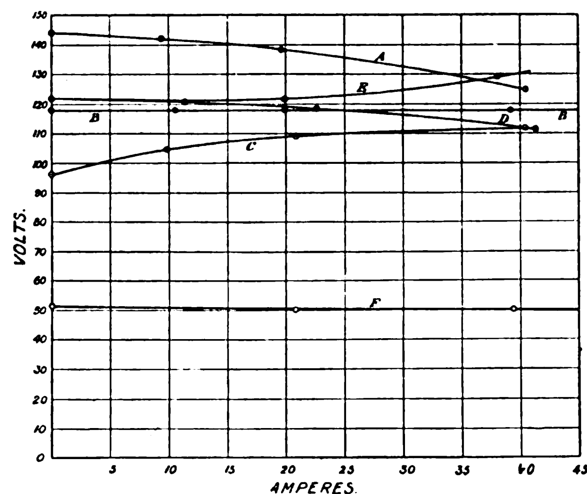


Fig. 7.

potentiel était de 20 volts à pleine charge, et ce régime ne pouvait pas être dépassé sans faire cracher les balais.

L'enroulement fut ensuite refait avec du fil de même section, réparti entre 22 bobines

de 6 spires chacune, l'une des spires étant décalée un peu en avant d'un angle presque égal à celui entre les becs polaires des inducteurs. Tournant à 1 150 tours par minute, avec des balais couvrant les trois quarts de la largeur d'une touche de collecteur, la machine a alors fourni la courbe D, qui accuse à pleine charge une perte de 10 volts ; on pouvait en outre marcher à une surcharge modérée.

En amenant la largeur des balais jusqu'aux sept huitièmes de la largeur d'une touche, et en tournant à 1 200 tours, on obtint la courbe B indiquant que la machine était exactement compoundée ; elle admettait en outre, sans cracher, une surcharge de 80 p. 100.

A la même vitesse, mais avec des balais d'une largeur égale à celle d'une touche, la machine a donné la courbe C accusant un surcompoundage de 14 volts à pleine charge.

La courbe E est obtenue quand la machine est excitée séparément ; le surcompoundage est de 8 volts.

En réduisant l'excitation de moitié, on a rendu la différence de potentiel constante, comme le montre la courbe F, et la surcharge permise est de 25 p. 100.

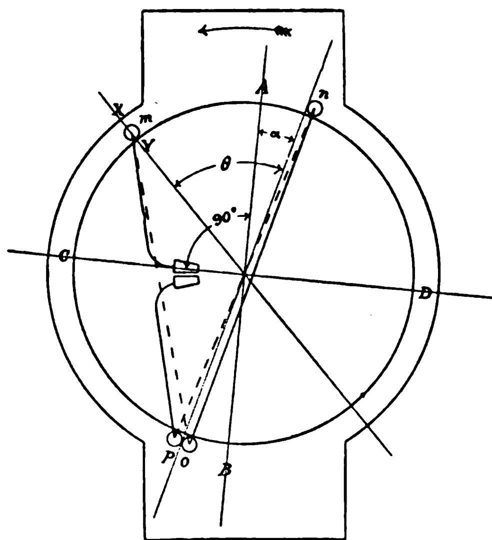


Fig. 8.

M. Brown donne l'explication suivante de l'action particulière de cet enroulement. Si la section *m*, *n*, *op* (fig. 8) faisait partie d'un enroulement diamétral ordinaire — c'est-à-dire si le conducteur avant, *m*, était immédiatement à côté de *n* — le plan *n*, *op* serait le plan d'intensité de champ $\mathcal{H}$ maximum de l'induit, et pour commuter sans étincelles cette section de l'induit, il faudrait avoir en *n* ou en *op* un faible champ positif. Celui-ci est obtenu quand le nombre d'ampères-tours sur l'induit n'excède jamais celui qui correspond à la force magnétomotrice produite par l'inducteur le long de l'entrefer.

Si, dans le nouvel enroulement, *m* est le conducteur avant, ou de commutation, faisant un angle θ avec la partie principale *n*, *op* de la bobine, le plan de $\mathcal{H}$ maximum sera déplacé en avant d'un angle α tel que

$$\alpha = \theta \frac{M}{N},$$

M et N désignant respectivement le nombre de conducteurs avant et le nombre total de conducteurs.

Menons par le centre de l'induit une droite CD normale à AB : alors CD sera le plan de $\mathcal{H}$ nul. Par conséquent, si nous désirons avoir pour la commutation un faible champ positif le long de XY, la force magnétomotrice sur l'induit doit être plus petite que

$$\frac{90 \ \mathcal{F}}{90 - \theta\left(1 - \frac{M}{N}\right)},$$

$\mathcal{F}$ étant la force magnétomotrice le long de l'entrefer.

L'effet particulier de l'élargissement du balai ne s'explique pas très facilement, à moins d'admettre qu'il décale le plan de $\mathcal{H}$ maximum vers *n*, *op* et, en augmentant la durée du court-circuit, qu'il permet à un champ plus faible d'effectuer la commutation.

M. L.-B. Atkinson appelle l'attention sur un effet secondaire de la réaction d'induit : la perte par hystérésis excessive due à la localisation de l'induction sous l'un des becs polaires au détriment de l'autre. Il passe en

revue les divers remèdes proposés et croit que la solution de M. Mordey ne s'applique pas aux dynamos à petit entrefer. La force électromotrice nécessaire pour inverser le courant est proportionnel au courant; l'induction sous le bec polaire avant est une constante moins une quantité proportionnelle au courant, qui devient nulle dans les dynamos à petit entrefer. Il faut donc décaler les balais, et au-dessus d'une certaine charge, le décalage ne suffirait même pas pour obtenir la force électromotrice d'inversion voulue. M. Mordey a seulement montré qu'en appliquant son enroulement à une dynamo à entrefer ordinaire, on peut en augmenter la puissance spécifique.

Le balai sectionné a été breveté en 1886 par M. Atkinson. L'échauffement de ces balais prouve d'ailleurs que s'ils évitent, jusqu'à un certain point, les étincelles, ils donnent lieu à une perte d'énergie.

L'attraction magnétique dissymétrique de l'induit peut être évitée dans les machines à pôles conséquents du type Manchester, en coupant les inducteurs dans le plan vertical contenant l'axe. L'augmentation de l'énergie cinétique d'un côté est alors compensée par une diminution équivalente de l'autre côté et la résultante des forces est nulle. C'est ce que l'auteur a constaté expérimentalement sur une machine du type Manchester dont l'entrefer n'était que de 1,5 mm.

Dans sa réponse aux observations qui précèdent, M. MORDEY avoue ne pas pouvoir s'appuyer sur des faits expérimentaux en ce qui concerne l'application de son enroulement aux machines de grandes dimensions, il ne voit toutefois aucune raison qui puisse diminuer l'efficacité de son dispositif quand on passe des petites machines aux grandes. D'ailleurs, pour les grandes puissances, les types multipolaires sont moins chers de construction et comme cette forme ne représente, au fond, qu'un groupement de plusieurs petites machines autour d'un même arbre, on ne prévoit pas de difficulté d'application du perfectionnement.

A l'objection que la machine d'essai améliorée par le perfectionnement en question avait dû être particulièrement mauvaise avant sa modification, M. Mordey répond que son étude a précisément pour but de montrer comment on peut rendre bonne une machine mauvaise, ou encore comment on peut faire produire plus à une machine d'un prix de revient donné.

L'origine de son perfectionnement était dans son désir de simplifier l'enroulement Sayers. Dans ce dernier, 100 conducteurs formant des bobines commutatrices auxiliaires sont, par exemple, ajoutés aux 100 conducteurs de l'induit; or, sur ces 100 conducteurs, 1 ou 2 seulement se trouvent utilisés simultanément quand ils passent sous le balai. Dans l'enroulement Mordey, au contraire, les conducteurs de commutation font en même temps partie de l'enroulement induit principal. Il économise ainsi une grande partie de la place occupée par les bobines auxiliaires de Sayers.

M. Mordey assure que les pertes RI^2 ne sont pas augmentées dans les induits en anneau de son système et qu'elles sont même diminuées dans les induits en tambour.

A propos des enroulements diagonaux et des pièces polaires coupées en biais suggérés par M. Gadsby, M. Sayers a montré à l'auteur une machine ainsi construite, mais elle a été abandonnée.

Enfin, répondant à M. Kapp, M. Mordey dit que dans son expérience sur l'effort supporté par le conducteur, le décalage entre courant et force électromotrice a dû être très faible, le circuit ayant contenu très peu de self-induction. A. H.

Remarques sur les induits à trous et les induits dentés ;

Par Dolivo DOBROWOLSKY [1].

» Étant donné le développement rapide

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift* du 29 juillet 1897, et *The Electrician* du 20 août 1897.

qu'ont eu les machines à grande intensité, il n'est pas étonnant que plusieurs des phénomènes, même parmi les plus simples, aient passé inaperçus ou encore soient restés sans explication satisfaisante.

» Beaucoup des ingénieurs qui ont admis la théorie des lignes de force gardent généralement sous silence les faits qui ne s'expliquent pas aisément avec cette théorie. Dans ce qui va suivre nous rappellerons quelques-uns de ces faits d'explication épineuse et dont l'élucidation présente une certaine importance.

» M. Mordey, l'ingénieur électricien bien connu, a récemment rappelé et vérifié un phénomène déjà constaté par le professeur Silvanus Thompson et M. Swinburne. Il consiste en ce que dans les armatures dentées ou dans les armatures à trous aucun effort tangentiel n'agit sur le conducteur électrique lui-même (voir, plus haut, p. 125); la réaction magnétique de l'induit et de l'inducteur fer contre fer. Il est surprenant que vingt ans après l'apparition des dynamos dans l'industrie, un doute puisse encore exister sur une pareille question.

» L'assertion, et avant tout l'expérience de M. Mordey ont étonné beaucoup d'ingénieurs, qui la plupart ont cherché surtout à trouver une cause d'erreur dans l'expérience du savant anglais. Une méprise devait en effet exister, si l'on ne voulait admettre qu'une manière de voir, qui était loin d'être une théorie compliquée, puisse être trouvée en défaut seulement après vingt ans d'existence.

» Or, c'est précisément ce qui s'est passé; nous avons admis des conceptions très élémentaires édifiées sur de très faibles fondations, et l'expérience de M. Mordey est en tout point exacte. Toutefois, comme il ne donne pas une explication bien probante des résultats obtenus, par une image de la distribution des lignes de force, la véritable raison reste à trouver, c'est pourquoi nous allons donner la démonstration rigoureuse et trancher la question une fois pour toute.

» Considérons une armature à trous (fig. 1) où deux conducteurs, traversés par un courant continu, peuvent être déplacés autour des encoches. L'induit et l'inducteur étant supposés fixés dans leur position, si nous déplaçons les conducteurs sur la surface intérieure cylindrique des trous, on voit que le nombre de lignes de force comprises entre les deux conducteurs reste le même, car si les

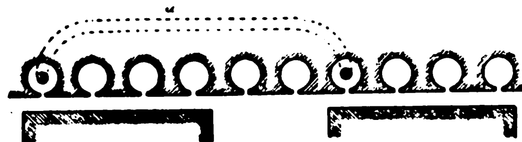


Fig. 1.

dents ne sont pas saturées, ce que nous supposerons, toutes les lignes de force passent à travers les dents et aucune ligne ne traverse les trous. Il en résulte qu'aucune force électromotrice n'est induite pendant ce déplacement dans les conducteurs et, par suite, qu'aucun travail n'est engendré ni dépensé, ou autrement dit qu'aucun effort ne vient s'opposer au mouvement produit ; il faut donc en conclure qu'il n'y a aucune répulsion ou attraction entre le cuivre induit et l'inducteur. Néanmoins dans le dispositif représenté sur la figure 1, une certaine réaction existe entre l'armature et le champ inducteur. Puis trouver sa cause, déplaçons maintenant l'armature d'une quantité aussi faible soit-elle par rapport à l'inducteur ; il y aura une variation dans le nombre de lignes de force entourées par les circuits des deux conducteurs, un courant induit prendra naissance et provoquera une réaction s'opposant au mouvement. La réaction s'exerce donc bien uniquement entre l'inducteur et le fer de l'induit.

» Cette loi a une importance toute particulière dans la construction des dynamos et des moteurs. Ainsi dans le cas des induits dentés ou à trous les conducteurs doivent être simplement protégés contre les effets de la force centrifuge. En particulier dans les alternateurs à induits dentés ou à encoches et fixes aucun entraînement n'est à craindre et l'isolation (mica ou coton) n'a à supporter aucun

effort tangentiel. Tous ceux qui ont construit et qui se sont servis de ces machines devraient avoir souvent observé ce phénomène, car dans la construction de celles-ci la fixation des enroulements induits est tellement difficile que des accidents se seraient produits, ce qui n'a jamais eu lieu.

» On sait qu'au contraire, dans les induits lisses, l'effort tangentiel s'exerce sur les conducteurs eux mêmes ; ceci peut d'ailleurs être facilement prouvé par le raisonnement suivant. Considérons un induit lisse (fig. 2).

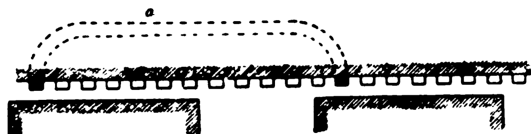


Fig. 2.

Dans ce cas, il se produit une variation dans le nombre de lignes de force comprises à l'intérieur des deux conducteurs non seulement quand on déplace le fer de l'induit par rapport à l'inducteur, mais encore quand on déplace les fils induits eux-mêmes, le fer de l'induit et l'inducteur restant fixes l'un par rapport à l'autre. Une certaine réaction tend donc à s'opposer au mouvement et par conséquent un effort tangentiel s'exerce sur le cuivre lui-même, comme on l'a du reste constaté souvent à ses dépens.

» Une autre question souvent discutée est la suivante. L'expérience montre que les conducteurs massifs sur les induits lisses s'échauffent considérablement par courants parasites et occasionnent par suite une assez grande perte d'énergie, tandis que les mêmes conducteurs placés sur un induit à encoches dont les dents sont peu saturées ne donnent pas lieu à ces courants. Bien que l'explication de ce fait soit très connue, il n'est peut-être pas inutile de la reproduire ici à cause de son étroite corrélation avec la question précédente.

» La figure 3 montre comment les barres disposées à la surface d'un induit lisse sont soumises à l'influence d'un champ non uniforme lorsqu'elles passent sous un pôle inducteur. Le côté droit de chaque barre étant dans un champ moins intense que le côté

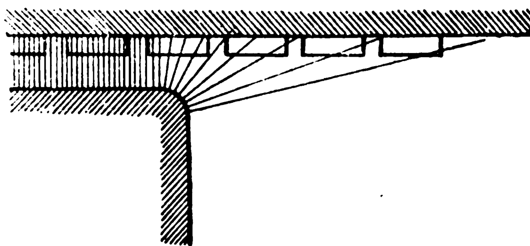


Fig. 3.

gauche, les différentes couches de celles-ci sont donc soumises à la variation du champ, d'où production de courants de Foucault.

» Que se passe-t-il dans les armatures dentées ? La figure 4, représentant différentes

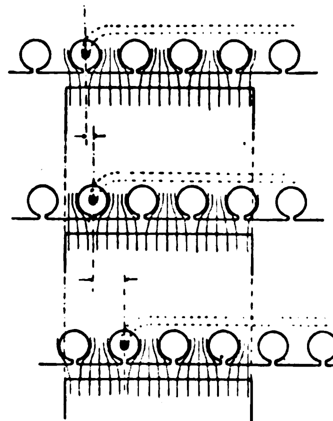


Fig. 4.

positions de l'induit par rapport à l'inducteur, montre que si les dents ne sont pas saturées, l'intérieur des trous de l'armature est pratiquement sans lignes de force. A l'aide des lois du circuit magnétique, il est facile de calculer et de suivre la distribution du flux pour les différentes positions. On voit que pour une variation infiniment petite de la position relative de l'induit et de l'inducteur, la répartition en avant et en arrière de chaque trou indique une variation correspondante du flux. La variation du flux compris dans une spire, pour un même déplacement, est par conséquent la même si le nombre de dents et leur volume sont tels que la résistance magnétique du système reste constante ; elle peut, par

suite, être représentée par la même courbe que pour un induit lisse. Toutefois il n'est pas possible d'en conclure que les lignes de force passent graduellement à travers les trous, pas plus qu'on ne peut affirmer, comme on le fait souvent, qu'elles sautent à travers le trou avec une très grande vitesse. Pendant son mouvement l'induit occupe successivement toutes les positions que nous avons considérées à l'état de repos; il ne passera donc pas non plus de flux à travers les trous ni il y a de saut des lignes de force à travers les encoches.

» La différence de potentiel magnétique qui existe entre le fond et la partie supérieure de chaque encoche, est en effet beaucoup trop petite ici pour produire un flux appréciable lorsque l'induit et l'inducteur sont fixes. Comme les ampères-tours nécessaires pour vaincre la résistance magnétique des dents sont également très petits, il n'y a aucune raison pour admettre qu'ils sont beaucoup plus grands lorsque la machine est en mouvement.

» Nous pouvons donc supposer que pendant la rotation le champ varie graduellement en face de chacun des trous, lesquels doivent être regardés comme dépourvus de flux magnétique, non seulement dans chaque position fixe, mais encore lorsque la partie mobile est en mouvement.

» Cette conclusion est en parfait accord avec l'absence d'effort et de courants de Foucault sur les conducteurs dans les induits dentés, puisqu'il n'y a aucun flux à l'intérieur des trous.

» Telle est l'explication de deux particularités des armatures dentées. On voit également que la force électromotrice induite dans une spire est due à la variation de l'intensité du champ dans cette spire et non au nombre de lignes de force coupées par elle, sans toutefois que cette dernière expression soit en contradiction avec les lois de la physique.

» En somme, on doit simplement entendre par ligne de force la direction et l'intensité du champ en un point et, de plus, n'employer cette expression qu'avec beaucoup de réserve. En particulier, il faut s'abstenir de regarder les lignes de force comme ayant une existence réelle et occupant toutes les positions intermédiaires quand on passe d'une position à une autre.

» Les lignes de force, pour une position donnée, ne sont pas autre chose qu'une expression incorrecte mais abréviative pour désigner la direction et l'intensité du champ en certains points. » J. R.

Quelques remarques sur les armatures dentées et les armatures à trous;

Par H. Du Bois[1].

« La récente expérience de Mordey[2] sur l'absence d'effort dû à l'inducteur sur les conducteurs des induits dentés ou à trous nous a conduit à étudier théoriquement la question. Bien que pour l'ensemble nous ayons les mêmes vues que M. Dolivo Dobrowolsky[3] nous ne pouvons admettre quelques-unes de ces déductions. En particulier, il nous est impossible de partager cette opinion que « nous acceptons et faisons usage de conceptions élémentaires ayant de trop faibles bases ». La valeur scientifique de la théorie dont nous sommes redevables à Faraday et à Maxwell, ne nous paraît pas devoir rentrer dans ces questions délicates dont parle le savant ingénieur. D'un autre côté, cette prétendue mise en défaut montre bien qu'il faut se garder de prendre trop à la lettre la conception des lignes de forces.

» D'après nous, on peut donner une explication satisfaisante de l'expérience de M. Mordey, en supposant simplement que le champ magnétique dans les encoches ou les trous des armatures est affaibli par la présence de la bonne conductibilité magnétique des dents

(1) *Electrotechnische Zeitschrift*, 19 août 1897, et *The Electrician* du 27 août 1897.

(2) Voir plus haut, p. 124.

(3) Voir l'analyse précédente, p. 133.

et non, comme le fait M. Dolivo Dobrowolsky, qu'il est complètement nul. Nous donnerons une démonstration plus mathématique ; nous pouvons considérer un élément infiniment petit de l'encoche ou du trou et ayant une forme géométrique donnée.

» Soit par exemple un conducteur rectiligne, disposé suivant l'axe d'un cylindre creux, formé d'une matière magnétique de perméabilité μ. L'ensemble est placé dans un champ homogène d'intensité H et les lignes de force sont perpendiculaires à la direction de l'axe du cylindre. Tant que $\mu = I$, la force électromagnétique qui tend à entrainer l'ensemble, est, par une unité de longueur, égale à HI, I étant le courant en décaampères que traverse le conducteur. Si, au contraire, la matière qui renferme le cylindre est magnétique, l'intensité du champ homogène dans l'espace compris à l'intérieur du cylindre n'est plus que H'. Nous avons récemment établi le rapport des valeurs H et H'; mais comme le calcul est assez compliqué, nous nous contenterons de donner la limite supérieure de ce rapport ; elle est :

$$\frac{H}{H'} = \frac{1}{4}(\mu - 2) + 1.$$

On peut donc faire les parois du cylindre aussi épaisses qu'on veut sans que l'affaiblissement du champ puisse dépasser le quart de la perméabilité ; le champ à l'intérieur du tube n'est donc jamais nul et atteint en général environ 1 p. 100 du champ extérieur.

La force électromagnétique qui s'exerce sur le conducteur est alors seulement IH' par unité de longueur, tandis que l'effort qui s'exerce sur le cylindre de fer est I (H — H'). Ce dernier est magnétisé par le courant suivant ses sections droites et la combinaison des deux flux produit une distribution dissymétrique des lignes de force, qui permet d'appliquer le raisonnement ordinaire et d'expliquer le phénomène produit. Ceci n'est du reste pas seulement vrai pour les tubes creux, mais encore pour les anneaux. Un anneau aimanté éprouve une poussée de côté lorsqu'on le place dans un champ magnétique dont les lignes de force sont situées dans le même plan que l'anneau ; réciproquement, il exerce une poussée dans une direction opposée, sur le support de l'aimant ou de l'électro formant le champ extérieur.

Cette déduction, assez étonnante au premier abord, peut être vérifiée expérimentalement.

Laissons de côté la question précédente pour dire quelques mots du phénomène d'induction qui constitue un des points les plus épineux de la théorie des lignes de force. Reprenons le cylindre inducteur précédent, mais non traversé par un courant et déplaçons-le dans la direction qu'avait la force électromagnétique s'exerçant sur le tube, nous obtenons les mêmes effets d'induction que si le tube de fer n'était pas là, quoique le conducteur soit continuellement dans un champ considérablement affaibli.

Pour expliquer ceci, le mieux est de faire usage de la théorie des tubes de force. Dans chacun de ceux-ci, comme on le sait, on a toujours le même flux à chaque instant; si le tube traverse un espace creux, sa section y est inversement proportionnelle au champ dans cet espace et par suite, d'après ce que nous avons dit plus haut, est quelques centaines de fois plus grande que dans l'espace extérieur au trou. Ainsi donc, si dans le déplacement relatif du champ et du cylindre creux, un tube de force passe à travers les parois dudit cylindre, il s'y étend considérablement et pousse les tubes d'induction précédents. Ceci ne suppose nullement qu'il y a des sauts brusques ; en effet, comme on suppose les tubes de force infiniment minces on comprend facilement que, dans l'espace intérieur au cylindre, leur déplacement augmente dans le rapport $\frac{H}{H'}$ des champs. En conséquence, le conducteur coupe, pendant un temps donné, le même nombre de tubes de force que s'il était dans le champ extérieur et, par suite, sans écran magnétique. L'explication présentée sous cette forme nous paraît suffisamment claire.

Les lignes de force, comme on le sait, sont représentées par le lieu géométrique du centre de gravité des sections des tubes d'induction. Si l'on veut conserver l'expression de lignes de force, elle ne pourra être logiquement acceptable que si l'on admet qu'elles traversent les espaces creux avec un accroissement de vitesse. Ce point serait assez difficile à se figurer par les figures kinétoscopiques actuelles et ne semblera peut-être pas admissible à M. Dolivo Dobrowolsky.

Il y aurait encore beaucoup à dire sur le sujet en question; aussi espérons-nous pouvoir le reprendre plus tard, tant au point de vue théorique qu'au point de vue expérimental.

J. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur la transparence des vapeurs aux rayons X;

Par Ed. VAN AUBEL [1].

L'an dernier, M. van Aubel avait montré que les vapeurs de chlorure de thallium, de bromure de potassium et d'iode, sont très transparentes aux rayons X, tandis que ces mêmes corps, pris à l'état solide, absorbent fortement ces rayons [2]. Dans ses nouvelles expériences, l'auteur a recherché si les vapeurs, à la température ordinaire, sont également transparentes.

A cet effet, il a pris deux tubes à essais, de 2 cm de diamètre, en verre mince très transparent aux rayons X; il les plaçait, après avoir versé dans l'un quelques gouttes de brome, contre une plaque photographique, et soumettait le tout à l'action des rayons. Il a constaté que le brome liquide est absolument opaque, tandis que les vapeurs de ce corps sont extrêmement transparentes, car il n'y a qu'une très faible différence entre l'opacité du tube à essais vide et celle du tube fortement coloré en brun par les vapeurs de brome.

Cette expérience prouve la grande transparence des vapeurs aux rayons X et montre le rôle considérable de l'état physique sur la transparence des corps pour ces rayons.

Dans cette même expérience, l'auteur a remarqué que la partie supérieure du bouchon de liège fermant le tube à essais est très transparente, tandis que la partie inférieure de ce bouchon, qui a été attaquée par la vapeur de brome, est opaque.

(1) *Journal de Physique*, 3e série, t. VI, p. 528, octobre 1897.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 458, 6 mars 1897.

Sur la résistance électrique du réostène;

Par Edm. VAN AUBEL [1].

Continuant ses recherches sur les propriétés des nouveaux alliages proposés pour la confection des bobines de résistance [2] l'auteur vient d'étudier le réostène, alliage réalisé l'an dernier par M. W.-T. Glover, de Manchester.

Cet alliage, dont la composition exacte est inconnue, est un acier au nickel; il se brase avec facilité et se soude à la soudure ordinaire; sa densité, déterminée à l'aide de la balance hydrostatique, réduite à l'eau à 4° et au vide, est égale à 7,8991.

Pour les mesures des résistances électriques [3], une longueur suffisante de réostène a été enroulée en spirale dont les deux extrémités ont été soudées à des tiges de cuivre. La spirale plongeait dans un bain de pétrole; celui-ci était successivement placé dans la

(1) *Journal de Physique*, 3e série, t. VI, p. 529, octobre 1897.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 570, 13 mars 1895.

(3) A ce sujet, voir aussi Dr J.-A. HARKER et A. DAVIDSON, *Report of the British Association for the Advancement of science*, 65e meeting. Liverpool, 1896.

glace fondante, dans un grand bac contenant de l'eau à la température du laboratoire, dans de la vapeur d'acétone ou d'alcool éthylique, ou enfin dans l'eau bouillante.

Avant de faire les mesures, le fil de réostène a été « vieilli ». A cet effet, la spirale étant dans le bain de pétrole, on chauffe celui-ci pendant plusieurs heures dans l'eau bouillante, puis on laisse refroidir lentement et on recommence à nouveau l'opération.

Voici les résultats obtenus en utilisant un pont de Wheatstone-Kirchhoff cylindrique, modèle du professeur Kohlrausch, construit par la maison Hartmann et Braun :

Résistivité du réostène à 0°44 C, 77,07 microhms-centimètres.

Coefficient de variation de la résistance électrique avec la température	+ 0,00119 de 0°44 à 14°47
	+ 0,00116 de 15°6 à 57°
	+ 0,00114 de 57° à 74°1
	+ 0,00098 de 74°1 à 100°5

Si l'on compare ces résultats avec les résistivités et coefficients de température d'autres alliages (voir le tableau de la page 571, du tome II de *L'Éclairage Électrique*), on constate que la résistivité du réostène est plus grande que celle du maillechort, de la manganine et du constantan, et beaucoup plus grande que celle de ses constituants, fer et nickel ; son coefficient de température est également plus grand que ceux de ces alliages et sensiblement constant entre 0 et 74°.

L'auteur rappelle à ce propos le travail de M. Ch.-Ed. Guillaume, présenté cette année à la Société de Physique [1], sur les propriétés des aciers-nickels, d'après lequel la résistivité de ces alliages, entre 10 et 150°, varie entre 80 et 90 microhms-centimètres et peut être représentée en fonction de la température par une fonction du second degré, où le terme du second degré est très petit.

BIBLIOGRAPHIE

Railway Engineering, mechanical and electrical (Construction des chemins de fer, électriques et mécaniques), par J.-W.-C. HALDANE. — Un vol. in-8° de XX-562 pages avec figures et planches, 1897. — London, *E. and F.-N. Spon*, éditeurs.

Cet ouvrage, bien qu'écrit dans un but de vulgarisation, contient des renseignements très intéressants. Il est principalement consacré aux chemins de fer à vapeur. L'auteur prend comme point de départ la construction d'une ligne dans un pays nouveau ; ce qui lui sert de prétexte pour exposer les méthodes de défrichement, puis les opérations du nivellement, du tracé des voies et de leur construction ; il étudie de même l'influence des chemins de fer sur la prospérité des contrées en citant des chiffres et en agrémentant ses descriptions d'anecdotes et de bibliographies. Dans la partie consacrée aux locomotives, il entre dans les détails de la construction en décrivant les principales usines anglaises. Cette partie contient d'importants renseignements sur l'organisation de ces ateliers, sur les machines outils qui y sont employées; c'est une des plus intéressantes de l'ouvrage. Les chemins de fer à voie étroite, les voies Decauville, les tramways à traction mécanique (funiculaires, électriques, air comprimé, etc.), sont également étudiés quoique plus sommairement.

La partie consacrée à la traction électrique ne contient guère que des généralités sur l'électricité ; on y trouve cependant une description détaillée du chemin de fer élevé de Liverpool.

Comme nous le disions plus haut, l'auteur a cherché à rendre la lecture de son ouvrage plus intéressante pour le public en général en agrémentant le texte d'anecdotes. Pour terminer, nous en citerons une relative à l'étonnement d'un brave Chinois qui voyait pour la première fois circuler le chemin de fer de Liverpool. Il resta bouche bée en contemplation, puis tout à coup s'écria : « Hah — ah — ah ! no pullee ! no pushee ! But goee !! » (Ah ! on ne le tire pas ! on ne le pousse pas ! mais il marche !!) L'ouvrage contient pourtant des passages plus sérieux. G. P.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 124, 10 juillet 1897. — *Comptes rendus*, 26 juillet 1897.

Elektrische Ströme (Courants électriques). Dix conférences sur la technique des courants intenses, par E. Cöhn, professeur à l'Université de Strasbourg. — Leipzig, *Hirzel*, 1897. 1 vol. pet in-8°, 180 pages et 70 figures.

Ces conférences sont une œuvre de vulgarisation. Tenues devant un public auquel le professeur ne pouvait supposer que des connaissances tout élémentaires, elles exposent, d'une manière aussi simple que possible, les principes sur lesquels reposent la production et l'utilisation des courants électriques. L'auteur a en vue principalement les applications dans la vie domestique et dans la petite industrie. Chacun sait que certains points ne sont pas faciles à traiter dans un exposé de ce ce genre ; en particulier, il n'est pas facile de faire comprendre à un public peu familiarisé avec les idées ce qu'est un champ tournant. Cette difficulté me paraît résolue ici d'une manière très simple, par une expérience due au professeur Braun et qui consiste à rendre visibles les variations d'intensité et de direction du champ magnétique par la déviation qu'il imprime à un faisceau de rayons cathodiques. M. L.

CHRONIQUE

Mesure des grandes résistances électrolytiques avec les courants continus. — Dans le dernier numéro du *Journal de Physique*, M. Guinchant résume comme il suit un intéressant mémoire de R. Malustrom, publié sous ce titre dans le *Zeitschrift für physikalische Chemie* (t. XXII, p. 331-336, 1897.)

M. Wildermann a récemment donné (*Journal de Physique*, 3e série, t. V, p. 282) une nouvelle méthode pour la mesure de la résistance des électrolytes : la solution, introduite dans un tube capillaire, est traversée par le courant d'une batterie de haute tension (100 éléments Clark) ; la force électromotrice de polarisation devient négligeable par rapport à la différence de potentiel aux extrémités de la résistance liquide. M. Wildermann plaçait simplement dans le circuit un galvanomètre qui mesurait l'intensité du courant, par suite la résistance.

M. Malüstrom perfectionne sa méthode de mesure en employant le pont de Wheatstone ; il compare les valeurs ainsi obtenues à celles fournies par les méthodes à courants alternatifs : méthode de Kohlrausch sur de faibles résistances ou méthode de Nernst sur de grandes résistances. L'auteur conclut :

1° Les résistances supérieures à 1 000 ohms peuvent se mesurer facilement et à quelques dizièmes pour cent en employant de larges électrodes de platine, d'environ 11 cm² de surface ; le courant constant ne doit être fermé que le temps nécessaire pour voir le sens de la dérivation, et être renversé après chaque lecture.

2° Les résistances supérieures à 100 000 ohms se mesurent comme des résistances de fils sans même que les électrodes soient platinées.

Le développement des transmissions électriques dans les ateliers, en France. — Les avantages de l'emploi de l'électricité pour l'actionnement des machines ne sont plus à discuter. Aussi les transmissions électriques, si nombreuses dans les ateliers américains, prennent-elles en France un développement considérable. Nos lecteurs se rappellent sans doute les descriptions qui ont été données dans ce journal des installations à courants diphasés des établissements Weyher et Richemond, à Pantin (t. I, p. 608 et t. III, p. 337), et des installations à courants continus des ateliers Bréguet, à Paris (t. III, p. 440). Ces exemples ont porté leurs fruits et il serait banal de décrire par le menu les nombreuses installations, aujourd'hui en fonctionnement ; signalons-en cependant quelques-unes qui montrent la facilité avec laquelle l'électricité peut s'appliquer à des travaux fort différents :

Dans les nouveaux ateliers de la Compagnie pour la fabrication des compteurs, à Paris, plusieurs machines-outils de faible puissance (perceuses, raboteuses, polisseuses), sont mus individuellement par de petits moteurs, et les bons

résultats obtenus auront pour conséquence la disparition des nombreuses courroies existant encore dans les anciens ateliers.

A Vernon, dans les ateliers de MM. Jacquet frères, constructeurs électriciens, une dizaine de moteurs de 5 à 15 chevaux actionnent les diverses machines-outils utilisées pour la construction de dynamos et de moteurs.

La Société industrielle de moteurs électriques et à vapeur (établissements Heilmann) emploie également les transmissions électriques dans l'usine qu'elle a fait construire l'an dernier au Havre. Une génératrice de 180 chevaux, actionnée par un moteur Willans, fournit le courant nécessaire à l'éclairage de l'usine et au fonctionnement de neuf moteurs électriques de 15 chevaux environ ; trois de ces moteurs sont affectés aux divers mouvements (levage, déplacement latéral de la charge, déplacement du pont) d'un grand pont roulant situé dans la travée principale du hall de construction ; trois autres mettent en mouvement trois arbres de transmissions courant d'un bout à l'autre des ateliers et auxquels sont reliées par des courroies les machines outils; les trois derniers servent à la mise en marche d'un ventilateur dans la chaufferie, de plusieurs ventilateurs et d'un marteau-pilon dans la forge, enfin des diverses machines à travailler le bois dans l'atelier de modelage.

Les importants ateliers de tréfilerie Lazare Weiler et Cie, établis au Havre depuis deux ans, offrent aussi une application des plus intéressantes du transport de l'énergie par l'électricité. Pour le moment, trois dynamos Hillairet et Huguet de 400, 600 et 1 000 chevaux, les deux premières mues par des machines pilon, l'autre par une machine Corliss, fournissent le courant continu à 460 volts employé à l'actionnement des moteurs; un nouveau groupe électrogène de 1 000 chevaux, actuellement en montage, portera bientôt à 3 000 chevaux la puissance transmise dans les ateliers, dont l'éclairage est assuré par une canalisation spéciale à 110 volts.

Enfin, signalons encore une tentative qui, si elle réussit, comme il est probable, ne peut manquer de fournir un débouché important à l'industrie électrique : c'est la commande des métiers à tisser par moteurs électriques. Depuis quelques mois plusieurs installations de ce genre sont en fonction dans la région de Saint-Étienne. La Société normande d'électricité cherche de son côté à développer cette nouvelle application dans les nombreuses filatures de la région rouennaise.

Emploi de l'électro-aimant comme appareil de levage dans les ateliers de laminage de la Illinois Steel C°. — Parmi les nombreuses applications de l'électro-aimant comme appareil de levage, celle qui vient d'être faite par la Wellman-Seaver Engineering C° de Cleveland (Ohio) dans les ateliers de laminage de l'Illinois Steel C° est sans contredit la plus intéressante qui ait jamais été faite dans un but pratique.

Voici, d'après notre confrère *The Electrical Engineer*, de New-York, en quoi consiste l'installation : De la porte des fours, où les plaques et lingots d'acier sont amenés au rouge blanc avant d'être laminés, part une longue poutrelle métallique formée de deux fers en I réunies de façon à laisser entre elles le passage d'une tige suspendue à un chariot roulant sur les deux cornières des poutrelles. Ces dernières se prolongent jusqu'au bout du train de laminoirs. Les électros transbordeurs sont constitués d'un bloc d'acier de forme rectangulaire, dans l'intérieur duquel est ménagée une rainure quadrangulaire où la bobine d'excitation est logée et enfermée par la plaque de fond ou plaque de contact. Les deux extrémités des fils de l'enroulement sortent par deux petits canaux pratiqués dans la partie supérieure de la carcasse et sont fixées à deux bornes d'où partent des fils souples aboutissant aux commutateurs de manœuvre. Quatre de ces électros sont accrochés à dcs palans dont les poulies supérieures sont attachées aux chariots. Ils sont excités par un courant à 240 volts dont l'intensité ne dépasse guère 5 ampères pour un fardeau de 5 tonnes.

Le transport des plaques s'effectue de la façon suivante : l'électro voisin du four est conduit audessus des piles des plaques et abaissé sur elle ; l'ouvrier lance le courant et plusieurs plaques sont soulevés et maintenues; toutefois, comme il est prudent de ne pas prendre des charges trop grandes, l'ouvrier fait, avec le commutateur, de brusques interruptions de courant, qui provoquent la chute des dernières plaques; les autres, plus près des pôles, sont maintenues par le magnétisme rémanent.

Construction d'une ligne de tramway électrique souterraine à Boston. — On construit actuellement à Boston un métropolitain électrique souterrain qui passe sous la ville dans la direction nord et sud. Il se compose, nous dit *The electrical World*, d'une artère principale formée de deux lignes à double voie, qui se suivent parallèlement sur un assez long parcours et se séparent près du terminus sud. L'une de ces lignes doit se raccorder à celle déjà en service et à ciel ouvert de Tremont street ; pour le moment elle s'arrêtera à Park street où la station terminus a été érigée. Les trains arrivant reprendront la ligne de retour par une boucle établie souterrainement et contournant cette station. Plus tard, cette ligne sera poursuivie sous Tremont street et Scollay square ; là les deux voies se sépareront pour aller l'une et l'autre se raccorder aux lignes établies à la surface. L'autre branche de l'artère vient émerger à la surface près de Public Garden et se raccorde à la ligne à double voie qui longe ce dernier.

Les tunnels qui abritent ces lignes sont entièrement construits en maçonnerie et rendus étanches de toutes parts. D'ailleurs, les dispositions ont été prises pour prévenir l'accès de l'eau provenant d'une fuite de canalisation ou d'un suintement. A cet effet on a établi dans le ballast, entre les deux rails de chaque voie, des drains qui conduisent l'eau dans des citernes d'où elle est reprise et rejetée à la surface par de puissantes pompes mues par des moteurs électriques.

Les voies de roulement sont constituées par des rails en acier du poids de 38 kgr par mètre courant ; les rails de garde pèsent 20 kgr par mètre.

La distribution du courant aux moteurs des voitures se fera par un fil à trôlet en forme de 8, longeant les voûtes sur des supports isolants montés dans des blocs de porcelaine. Le retour du courant se fera par les rails ; mais pour éviter les détériorations, dues à l'électrolyse, des nombreuses canalisations de toutes sortes qui se trouvent dans le voisinage des tunnels, les voies sont reliées électriquement, par des câbles de forte section, à des feeders de retour de courant.

L'éclairage des tunnels est assuré par des lampes à arc montées par 5 en série sur le circuit à 500 volts. Il est à remarquer que les lampes de chaque série, ne sont pas disposées les unes immédiatement à la suite des autres, mais sont interverties avec celles d'autres séries, afin que si un accident se produit sur l'un des circuits, l'éclairage d'une région n'en soit affecté que par une diminution d'intensité, et non par l'obscurité complète. Les stations, très nombreuses sur le parcours de ce métropolitain, sont éclairées par des lampes à incandescence, à alimentation indépendante.

L'aération de toutes les parties souterraines est largement assurée par de puissants ventilateurs mus par des moteurs électriques et répartis, en différents points du tunnel, dans des cheminées d'appel émergeant à la surface.

L'énergie électrique nécessaire à l'exploitation du métropolitain sera fournie régulièrement par deux stations spéciales, dont une seule suffira à assurer le service, l'autre servira de réserve. Le courant doit être amené à un tableau unique situé dans un bâtiment dont l'emplacement a été choisi au milieu de l'artère, sur l'un des quais. De ce tableau, le courant sera réparti sur les différents feeders des fils à trôlet, des circuits à incandescence, des moteurs, des pompes et ventilateurs. D'après les dispositions prises dans le système d'alimentation, trois stations centrales pourront successivement être raccordées et se suppléer l'une à l'autre, en cas de besoin ; le surveillant du tableau communiquera avec chacune d'elles par téléphone.

Les travaux d'achèvement des tunnels et la pose des voies sont rapidement menés. Les tronçons achevés sont pourvus de leur fil à trôlet et des locomotives électriques sont employées au transport des matériaux.

L'éclairage électrique des locaux du service de chirurgie à l'hôpital Bichat (Paris). — M. le Dr Mally, chirurgien à l'hôpital Bichat, décrivait dernièrement, dans le *Progrès Médical*, l'installation d'éclairage électrique dont vient d'être doté le service de chirurgie de cet établissement.

Les locaux qu'il s'agissait d'éclairer comprenaient une salle commune affectée aux malades, la salle d'opérations et les chambres du pavillon d'isolement.

La salle commune, située au 1er étage, a 30 × 8 m de superficie ; ses parois latérales se rejoignent en forme d'ogives et le long de la ligne de jonction étaient fixés les quatre supports de becs de gaz qui éclairaient la salle. Grâce à cette disposition, la transformation des appareils d'éclairage a pu s'effectuer de la façon la plus simple. Il a suffi de remplacer chaque brûleur à gaz par une monture double dans laquelle sont placées deux lampes à

incandescence, une de 16 et l'autre de 5 bougies. Leurs conducteurs respectifs sont logés dans la tige creuse du support et en sortant par des trous pratiqués près du sommet pour se raccorder à la canalisation.

Cette dernière est formée de trois fils de cuivre nu traversant la salle dans toute sa longueur et fixés par des isolateurs sur les supports mêmes des lampes. Deux de ces fils alimentent les lampes de 5 bougies; le troisième sert, en même temps que l'un des deux autres fils, à l'alimentation des lampes de 16 bougies. Ces dernières sont allumées pendant le repas du soir; après le repas, on les remplace par celles de 5 bougies qui restent allumées toute la nuit.

L'emploi de fils nus pour la canalisation est justifié par la facilité qu'il procure de pouvoir éclairer fortement et isolément n'importe quel lit de la salle par le moyen de l'artifice suivant : Une tige verticale formée d'un tube d'acier nickelé s'adapte, à l'aide de crampons, à la monture du lit de fer. Une seconde tige creuse, dont l'extrémité libre est munie d'une douille porte-lampe et d'un réflecteur, forme un bras horizontal pouvant s'allonger au moyen d'une coulisse et se déplacer en hauteur en glissant le long de la tige verticale. La lampe, de 16 bougies, peut elle-même occuper toutes les positions désirables grâce à la monture à genouillère qui relie sa douille au support, et permet ainsi d'éclairer telle partie du corps du malade que l'on veut examiner. Pour l'alimenter il suffit de la relier à la ligne aérienne au moyen d'un fil souple et d'une canne portative munie de crochets de contacts que l'on peut déplacer sur toute la longueur de la canalisation.

Ajoutons que les conducteurs étant partout maintenus à une certaine distance des murs, ceux-ci peuvent être facilement lessivés sans crainte de compromettre l'isolement.

Les commutateurs et autres appareils de commande des circuits sont logés dans une petite armoire placée dans le cabinet de la surveillante.

La salle d'opération rectangulaire de 6 × 3,5 m de superficie, est éclairée par une baie vitrée formant toiture. La table d'opération ainsi que les différents accessoires étant orientés suivant cet éclairement, il était utile de chercher à reproduire avec l'éclairage artificiel le même effet qu'avec la lumière du jour. Dans ce but, deux rampes lumineuses ont été disposées au bord inférieur du vitrage, de chaque côté de la table. Elles comprennent en tout 10 lampes de 16 bougies. Deux bandes de zinc servent de réflecteurs et renvoient la lumière de telle façon que l'opérateur peut prendre n'importe quelle position aux abords de la table sans projeter d'ombre. D'autre part, on peut obtenir dans cette pièce l'éclairage intensif d'un endroit quelconque en s'aidant d'un dispositif analogue à celui que nous avons décrit plus haut.

Le pavillon d'isolement comprend 4 petites salles contenant chacune deux lits placés parallèlement l'un à l'autre. Les becs de gaz qui servaient à leur éclairage ont été remplacés par des lampes électriques, disposées, à raison de une par salle, entre les deux lits, et logées dans des petites cavités hémisphériques creusées dans le mur et fermées par un globe.

Une prise de courant, située au-dessous de chacune d'elle, permet d'alimenter une lampe portative de 16 bougies. Dans ce pavillon, la canalisation, en câbles isolés, est fixée à l'extérieur.

Les dépendances des trois principaux locaux que nous venons de citer, sont aussi éclairés électriquement. Ces dépendances comprennent les cabinets des surveillants, la salle de bains et la salle de consultation de chirurgie située au rez-de-chaussée. Cette dernière est pourvue d'une canalisation à fils nus alimentant une lampe fixe et une lampe mobile dont le chirurgien de garde se sert pour examiner un malade blessé ou contusionné amené d'urgence la nuit.

Disons, en terminant, que les auteurs de cette heureuse innovation sont MM. les Drs Terrier et Mally, l'un directeur, l'autre aide du service de chirurgie. Les travaux ont été effectués d'après leurs plans par l'ingénieur électricien de la Compagnie du secteur de Clichy, M. Ballet.

Le plus puissant phare électrique du monde. — Sous ce titre, nous avons annoncé à nos lecteurs (Voir *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 428; 28 nov. 1896), qu'un phare électrique, le plus puissant du monde, allait être érigé sur la pointe de Penmarc'h (Bretagne). Nous apprenons que les travaux en sont presque totalement achevés et que l'inauguration du nouveau phare, qui portera le nom de phare d'Eckmühl (*L'Éclairage Électrique*, *loc. cit.*), aura lieu avant l'hiver prochain.

Rappelons que la puissance lumineuse de ce nouveau phare sera de 3 600 000 becs Carcel, ou

36 000 000 de bougies et sera projetée sous forme de feux-éclairs à éclats réguliers blancs toutes les cinq secondes. Les feux-éclairs seront produits par deux appareils lenticulaires accouplés, composés chacun de quatre panneaux de 0,30 m de distance focale. Les deux appareils accouplés sont montés sur un même plateau solidaire : 1° d'un flotteur plongé dans une cuve remplie de mercure ; 2° d'un arbre vertical autour duquel se fait la rotation des deux appareils optiques. La durée de cette rotation est de vingt secondes. Elle est obtenue au moyen d'un mouvement d'horlogerie actionné par un poids moteur. Au foyer de chacune des deux optiques se trouve un régulateur électrique à arc, muni soit de charbons de 10 millimètres de diamètre, soit de charbons de 16 millimètres suivant l'intensité des courants employés. Ces courants sont des courants alternatifs de 25 ou de 50 ampères sous 45 volts. Ils seront produits par deux alternateurs diphasés. En temps clair, un seul des alternateurs sera mis en marche. Chacun d'eux fournira au régulateur placé dans une des optiques les 25 ampères qui sont nécessaires pour le fonctionnement avec charbons de 10 millimètres. En temps brumeux, les deux alternateurs seront couplés et fourniront 50 ampères à chacun des régulateurs fonctionnant avec charbons de 16 millimètres.

Le phare d'Eckmühl est muni d'un signal sonore de brume constitué par une sirène à air comprimé installée sur la galerie supérieure de la tour. En temps de brume elle émettra des groupes de deux sons d'égale hauteur (*mi* 3). de trois secondes de durée et séparés par un intervalle de trois secondes alternant toutes les quatre-vingt-dix secondes avec un son unique de même hauteur et de trois secondes de durée. L'intensité des sons produits correspondra à un travail moteur de 160 chevaux-vapeur.

Traitement électrolytique des mattes cuivre-nickel. D'après notre confrère *L'Industrie Électro-chimique*, une grande usine a été récemment installée à Cleveland (Ohio), par la Canadian Copper Company pour le traitement électrolytique de mattes cuivre-nickel, contenant en moyenne : 43,4 p. 100 de cuivre, 40 p. 100 de nickel, 13,8 p. 100 de soufre, 0,3 p. 100 de fer, et en outre 217 grammes d'argent, 15 grammes de platine et de 3 à 6 grammes d'or par tonne.

Le traitement comprend trois opérations : déposition du cuivre, déposition du nickel, obtention des métaux précieux.

Dans la première les mattes, coulées en plaques, servent d'anodes ; de minces feuilles de cuivre servent de cathodes. L'électrolyte est obtenu par la dissolution d'une certaine quantité de matte dans l'acide sulfurique dilué en quantité suffisante pour que la liqueur renferme au moins 8 grammes d'acide libre par litre ; on y ajoute 0,5 p. 100 de sulfate d'ammoniaque pour empêcher la précipitation de l'arsenic et un peu d'acide chlorhydrique pour précipiter l'argent dans les boues à l'état de chlorure insoluble. Les électrolyseurs sont munis d'un dispositif permettant d'injecter de l'air sous pression.

Quand la presque totalité du cuivre est déposée, la solution est conduite dans d'autres cuves où elle est additionnée de sulfure de sodium ou filtrée sur du sulfure de nickel, afin d'éliminer les dernières traces de cuivre ; une addition d'oxyde de nickel fraîchement précipitée élimine les traces de fer. Après filtration, la solution qui doit être neutre ou légèrement ammoniacale est soumise à l'électrolyse ; les cathodes sont des feuilles minces de nickel pur, les anodes des plaques de nickel 95 p. 100 ou des plaques de charbon de cornue. Avec des anodes en nickel le bain devient alcalin ; avec des anodes en charbon, il devient acide ; on le maintient neutre en prenant en même temps des anodes solubles et des anodes insolubles.

Les boues recueillies sur le fond des cuves sont séparées des débris d'anodes par tamisage, puis traitées à chaud par de l'acide sulfurique dilué. Le résidu, séparé par filtration est séché, fondu et coulé en plaques. L'argent auro-platinifère ainsi obtenu est affiné électrolytiquement suivant le procédé Mœbius. Le résidu or-platine est dissous dans l'eau régale ; la petite quantité d'argent qui a pu rester dans l'or est par conséquent transformée en chlorure que l'on sépare par filtration. Quant à la liqueur filtrée qui contient le platine, elle est additionnée de chlorure d'ammonium. En calcinant ensuite le chlorure double d'ammonium et de platine précipité, on obtient ce dernier métal sous forme de mousse.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XIII. **Samedi 23 Octobre 1897** **4e Année. — N° 43.**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DE L'INFLUENCE DE LA CHUTE DE TENSION
DANS LE CALCUL DES ALTERNATEURS

Notre intention n'est pas de donner une théorie nouvelle, mais de généraliser celle bien connue de M. Behn Eschenburg [1] tout

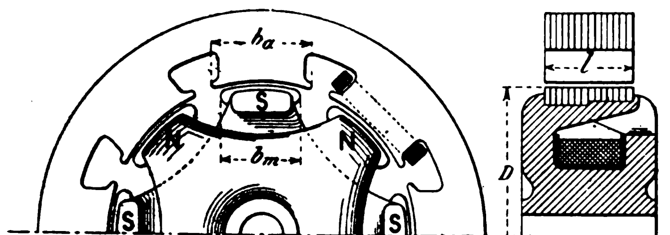


Fig. 1.

en la présentant sous une forme plus accessible pour le calcul des alternateurs en partant de leur chute de tension.

Les quelques reproches qu'on a faits à l'exactitude de la méthode de M. Behn Eschenbourg ne nous semblent pas avoir d'importance ici, car on ne saurait les attribuer à autre chose qu'à la variation de la résistance du circuit magnétique aux différents décalages de phases, variation dont on n'a pas tenu compte jusqu'ici.

Considérons un alternateur en court circuit, l'intensité du courant qui le traverse est maxima en général [2] lorsque les bobines de l'induit se trouvent exactement en regard des bobines de l'inducteur. La force démagnétisante de l'induit est, abstraction faite des fuites, sensiblement égale et opposée à la force magnétisante de l'inducteur.

Il est donc possible, sans se servir du coefficient de self-induction de la machine dont la notion est toujours un peu vague, d'établir une équivalence entre les ampères-tours induits et inducteurs.

Les chiffres qu'on relève expérimentalement s'accordent assez bien avec ceux calculés tant que la différence de phase reste voisine de 90°. Au contraire lorsque le déca-

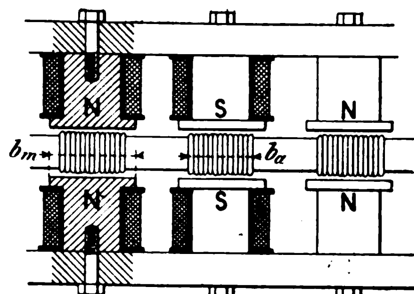


Fig. 2.

lage est beaucoup moindre, l'accord n'a plus lieu et la différence peut aller jusqu'à 30 ou 40 p. 100.

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift.*

(2) Excepté les machines à induit genre Gramme, Kapp par exemple.

Ce fait est dû uniquement à la variation de la perméance du circuit magnétique pour les différentes positions relatives de l'induit par rapport à l'inducteur.

L'exemple suivant montre bien cette variation. La machine essayée est un alternateur de 600 kilowatts. Les chiffres obtenus pour une excitation constante sont les suivants :

	Volts.	Ampères.
A vide.	4 000	—
En court-circuit	—	320
Avec charge non inductive.	3 900	200

On voit que l'impédance de l'induit est, pour un facteur de puissance égale à 1,

$$R = \frac{1}{200}\sqrt{4400^2 - 3900^2} = 10 \text{ ohms}$$

et pour un décalage de 90° :

$$R_0 = \frac{4400}{320} = 14 \text{ ohms};$$

la différence est de 30 p. 100.

Un grand nombre d'autres machines de types divers nous ont donné des résultats analogues; on peut donc partir de cette valeur de la différence pour un calcul de première approximation.

Il n'est pas toujours très commode de calculer ou de vérifier expérimentalement les variations de l'impédance avec le décalage; aussi doit-on et peut-on se contenter en général de faire deux calculs ou deux essais pour des décalages de o et 90° par exemple, et d'admettre que la résistance apparente varie suivant une fonction linéaire du décalage.

FORMULES FONDAMENTALES

Appelons :

Φ flux émanant d'un pôle;

N nombre total de spires en série par phase (pour les machines à fer tournant et deux induits il faut prendre le nombre de spires par phase pour les deux induits);

$2p$ nombre de pôles;

q nombre de phases;

$c = \frac{1}{T}$ fréquence;

k coefficient de Kapp (égal à $\frac{2\pi}{\sqrt{2}}$ pour les machines à force électromotrice sinusoïdale);

I courant total par phase;

i courant d'excitation;

m nombre de spires par circuit magnétique de l'inducteur [1].

La force électromotrice induite par phase a pour expression :

$$E = kcN\Phi\, 10^{-8}; \qquad (1)$$

de même la force contre électromotrice de self-induction est :

$$e = k'cN\varphi\, 10^{-8}, \qquad (2)$$

φ étant le flux propre de l'induit.

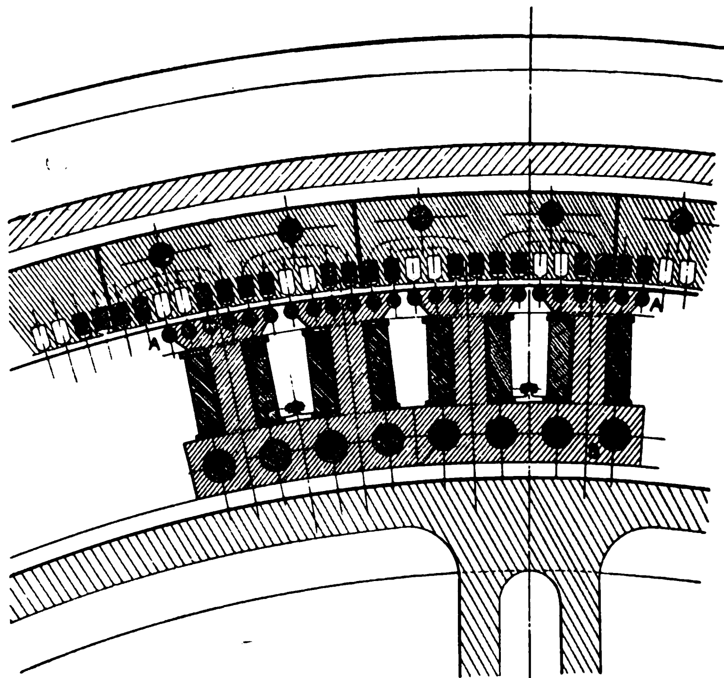


Fig. 3 *a*.

Désignons par $\mathfrak{R}_a$ la résistance du circuit magnétique de l'induit pour un décalage dé-

(1) Lorsque chaque pôle de l'inducteur a une bobine, m est le nombre de spires pour deux de ces bobines; si l'inducteur a une bobine centrale, m est le nombre des spires de cette bobine unique.

terminé et $\mathcal{R}_m$ la résistance du circuit magnétique de l'inducteur, nous aurons :

$$\Phi = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{mi}{\mathcal{R}_m}, \qquad (3)$$

$$\varphi = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{\mathrm{NI}\sqrt{2}}{p\mathcal{R}_a}\left(\frac{q}{2}\right). \qquad (4)$$

Dans le cas de machines mono ou diphasées le facteur $\frac{q}{2}$ est égal à 1.

Substituant ces valeurs dans les équations (1) et (2) et divisant celles-ci l'une par l'autre on obtient :

$$\frac{e}{\mathrm{E}} = \frac{k''\mathrm{NI}\sqrt{2}\left(\frac{q}{2}\right)}{pmi} \frac{\mathcal{R}_m}{\mathcal{R}_a} = \mathrm{X}. \qquad (5)$$

Cette expression qui représente le rapport

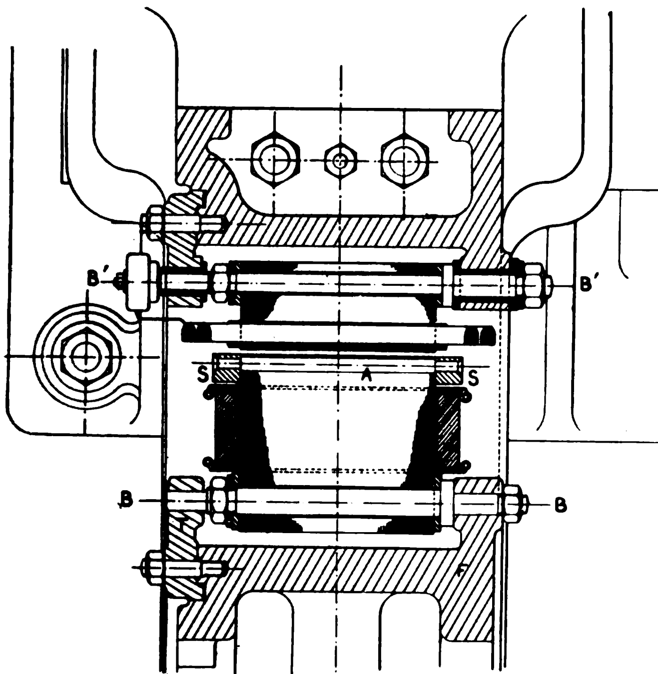


Fig. 3[b].

de la force contre électromotrice de self-induction à la force électromotrice induite a une importance toute particulière et peut être regardée comme un critérium permettant d'apprécier la valeur d'un alternateur, car, abstraction faite des qualités mécaniques, la supériorité d'une machine à courants alternatifs ne dépend que de la chute de tension.

Nous pouvons aussi écrire :

$$e = \mathrm{IR}$$

ou R est l'impédance de l'induit ou l'inductance $2\pi c$ L si l'on néglige la résistance intérieure.

En remplaçant cette valeur de e dans l'expression (5) et en posant

$$\rho = \frac{\mathcal{R}_m}{\mathcal{R}_a}$$

on obtient :

$$\mathrm{R} = \frac{k''\rho\mathrm{N}\sqrt{2}\left(\frac{q}{2}\right)\mathrm{E}}{pmi}. \qquad (6)$$

En court circuit $\rho = 1$.

Pour un décalage décroissant, ρ diminue en général, principalement dans les alternateurs à courants triphasés, ce qui s'explique facilement puisque la résistance magnétique de l'induit est plus grande lorsque les pôles de cet enroulement se trouvent entre deux pôles de l'inducteur.

Le coefficient k'' dépend exclusivement de la construction de la machine c'est-à-dire de la largeur relative des pôles de l'induit par rapport à ceux de l'inducteur, des fuites magnétiques, etc... Sa valeur peut être déduite facilement de quelques résultats expérimentaux, comme le montre le tableau I se rapportant à 13 machines [1].

Le coefficient k'' est généralement plus grand pour les machines à courants triphasés que pour les machines monophasées. La raison en est facile à donner. Si l'on calcule en effet le rapport $\frac{b_m}{b_a}$ (fig. 5 à 7) pour un grand nombre de machines on trouve les chiffres suivants :

	Cour. triphasés.	Cour. alternatif simple.
$\frac{b_m}{b_a}$	1,25	0,77

[1] Voir ARNOLD. Sur le calcul et l'appréciation des machines à courant continu et à courants alternatifs simples et polyphasés. *Elektrotechnische Zeitschrift*, nos 41 et 51 ; 1896.

TABLEAU I

PUISSANCE en chevaux	FIGURES	N	m	p	E	I. Courant en court-circuit pour une excitation i.	i	k''	OBSERVATIONS
50	Fig. 1	300	850	5	600 900 1 200	28 50 114	2,5 5 14	0,9 1 1,22	
100	»	400	700	6	1 500 2 000 2 500	16 25 37,5	2,6 4,6 8	1,2 1,36 1,58	
150	»	300	805	6	1 000 1 500 2 000	35 54 83	3,7 6 10,5	1,2 1,27 1,44	Machines à courant alternatif.
200	»	400	950	8	2 000 3 000 4 000	27,5 42,5 66	2,3 3,6 6	1,12 1,13 1,22	
100	Fig. 2	1 106	372	7	880 2 000	30 »	8,7 21	0,48 »	
600	Fig. 3	960	540	40	2 200 2 800 3 600 4 200	125 164 250 420	5 6,7 10,5 17,5	0,636 0,645 0,665 0,663	Circuits amortisseurs. Induit, 2 circuits en parallèle.
2	Fig. 4	160	1 370	2	120 180 240	4,5 8,5 31,5	0,25 0,5 1,25	0,62 0,655 0,66	
15	Fig. 5	28	1 600	2	60 110 180	200 285 450	2 2,8 4,5	0,54 0,53 0,54	
30	Fig. 6	64	1 110	4	87 115 135	100 160 240	2,2 3,5 5,5	0,71 0,71 0,75	Machines à courants alternatifs triphasés.
30	Fig. 7	42	950	4	80 120 150	95 154 210	3,3 7,4 13	1,23 1,86 2,4	
325	»	858	500	26	2 000 2 400 2 900	35 47 77	7,2 10,2 20	1,46 1,60 1,85	
225	Fig. 3	28	340	7	50 75 100 130	206 320 634 830	2,2 3,6 7,85 13,3	0,42 0,44 0,485 0,635	Enroulement tambour.
350	Fig. 3	54	648	36	65 100 115	860 1 980 2 600	3,75 8,7 15,6	1,33 1,33 1,33	Machine à courants diphasés. Induit à développement

La section d'un pôle de l'induit d'une machine à courants triphasés est donc environ

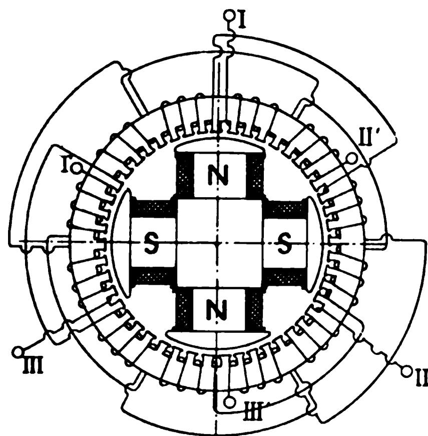


Fig. 4.

25 p. 100 plus petite que celle des pôles de l'inducteur ; il se forme donc par suite des flux locaux qui ne peuvent être équilibrés par le flux inducteur.

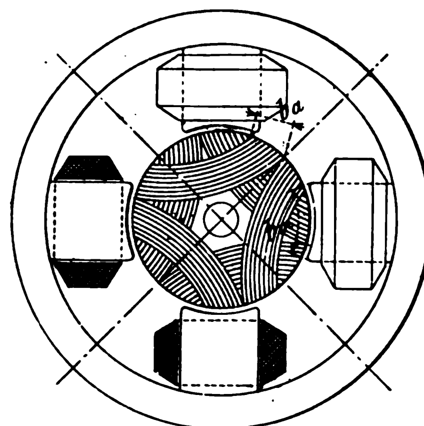
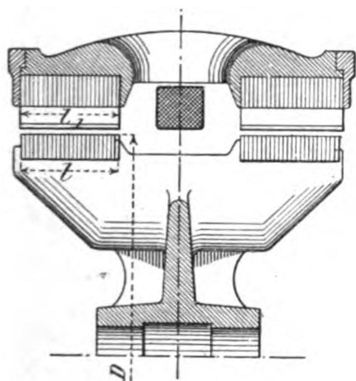


Fig. 5.

Si l'on prend les résultats donnés dans le tableau I et ceux publiés par M. Arnold, on



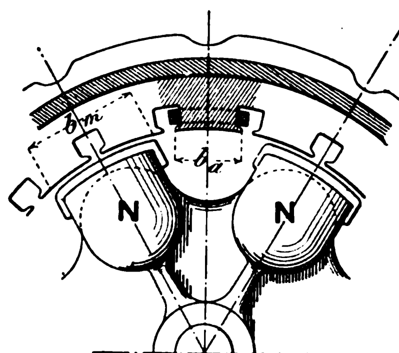


Fig. 6_a et 6_b.

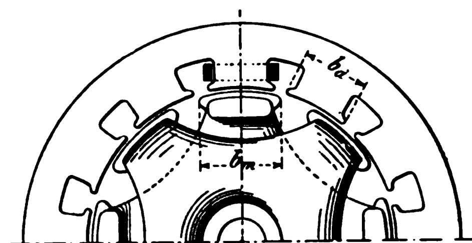


Fig. 7.

trouve pour les valeurs moyennes les chiffres suivants :

TABLEAU II

Valeur de k″ *pour différents types de machines.*

MACHINES à courant alternatif. (Fig. 1).	MACHINES à courants triphasés. (Fig. 6). Bobine inductrice fixe.	MACHINES à courants triphasés. (Fig 7).
1,14	1,1	1,44

CALCUL DES DIMENSIONS D'UNE MACHINE

Supposons d'abord qu'il s'agisse de calculer la chute de tension d'une machine de puissance déterminée.

Nous supposerons le facteur de puissance, dont l'importance est ici capitale, connu à l'avance, quoique sa détermination soit en général assez difficile à obtenir avec précision ; on est en effet porté, dans les machines pour lumière, à lui attribuer une valeur plus petite qu'il n'a en réalité, principalement dans les usines comprenant plusieurs génératrices, où une seule machine est destinée pendant le jour à assurer le service, c'est-à-dire, en réalité, à fournir presque uniquement les courants d'excitation des transformateurs.

Nous connaissons des exemples où le facteur de puissance moyen pendant vingt-quatre heures ne dépassait pas 0,5.

Si l'on connaît le courant i magnétisant des transformateurs, le cos φ sera approximativement

$$\cos \varphi = \frac{I'}{\sqrt{I^2 + i^2}} \quad (7)$$

où I est le courant watté à vide.

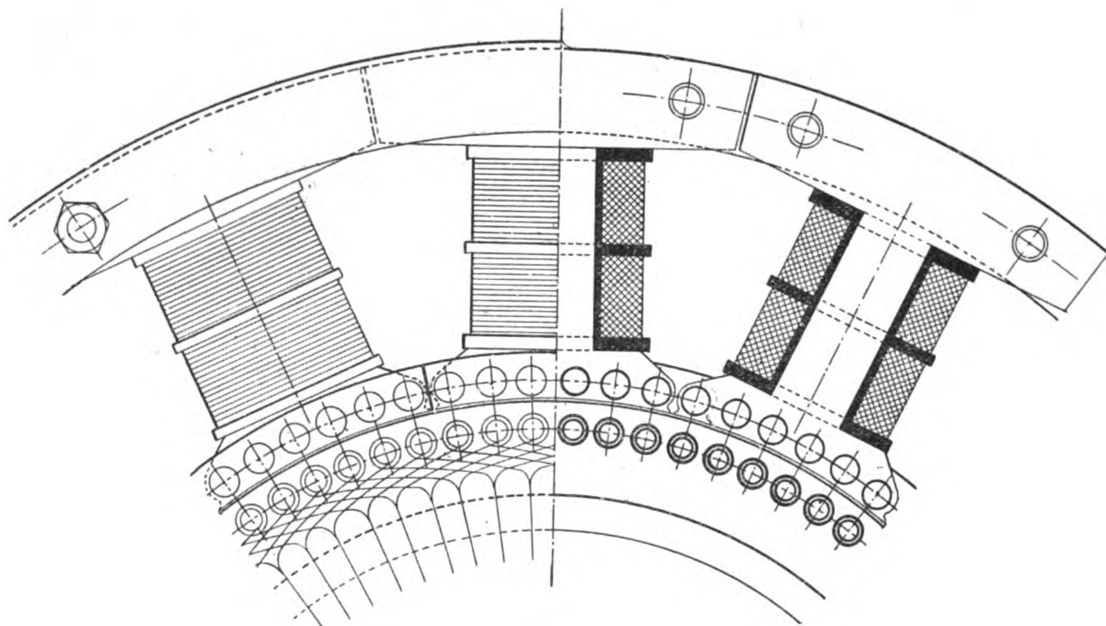


Fig. 8.

Arrivons au calcul de la chute de tension. La force contre-électromotrice de self-

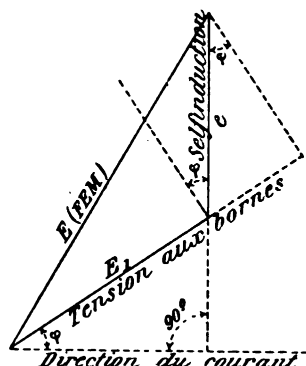


Fig. 9.

induction étant décalée d'un quart d'onde en arrière du courant, il est facile de construire la différence de potentiel aux bornes (fig. 9); on en déduit :

$$E_1 = \sqrt{E^2 - e^2 \cos^2 \varphi} - e \sin \varphi \quad (8)$$

En pratique pour le calcul des dimensions d'une machine il est plus commode de mettre cette expression sous la forme :

$$\frac{e}{E} = \sqrt{1 - \eta_1^2 \cos^2 \varphi} - \eta_1 \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = X \quad (9)$$

en posant :

$$E_1 = \eta_1 E.$$

Si le facteur de chute de tension y, et le facteur de puissance cos φ sont connus ; on en déduit donc la valeur de X qu'on portera dans l'équation (5) :

De cette équation on déduit alors :

$$N = \frac{X}{I} \times \frac{pmi}{\sqrt{2}\left(\frac{q}{2}\right)} \frac{1}{k''} \frac{1}{\rho},$$

ou en remarquant que :

$$mi = \frac{10}{4\pi} \mathfrak{B} \times \delta\alpha,$$

$$N = \frac{X}{I} \times \frac{p\, 0{,}8\, \mathfrak{B}\alpha\delta}{k''\rho \sqrt{2}\left(\frac{q}{2}\right)}, \quad (10)$$

TABLEAU III

Valeurs de $X = \sqrt{1 - \eta_1^2 \cos^2 \varphi} - \eta_1 \sqrt{1 - \cos^2}$

	VALEURS DE η_1^2									
Cos φ =	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
1,00	0,31	0,436	0,525	0,600	0,66	0,714	0,760	0,80	0,832	0,865
0,95	0,147	0,252	0,336	0,412	0,476	0,536	0,591	0,642	0,687	0,730
0,9	0,107	0,195	0,274	0,347	0,41	0,471	0,527	0,579	0,628	0,674
0,85	0,09	0,171	0,245	0,311	0,376	0,435	0,492	0,545	0,595	0,642
0,8	0,08	0,155	0,221	0,287	0,35	0,406	0,464	0,516	0,566	0,615
0,75	0,073	0,142	0,210	0,272	0,33	0,388	0,442	0,494	0,547	0,595
0,7	0,069	0,131	0,199	0,254	0,314	0,37	0,426	0,477	0,529	0,579
0,65	0,064	0,124	0,188	0,246	0,304	0,36	0,412	0,468	0,516	0,568
0,6	0,06	0,12	0,180	0,235	0,291	0,346	0,40	0,452	0,504	0,553
0,55	0,089	0,116	0,172	0,228	0,280	0,339	0,391	0,442	0,493	0,543
0,5	0,058	0,113	0,167	0,222	0,274	0,331	0,384	0,433	0,485	0,535
0,45	0,057	0,110	0,163	0,218	0,269	0,324	0,378	0,426	0,479	0,528
0,4	0,056	0,108	0,159	0,214	0,265	0,318	0,372	0,421	0,472	0,521
0,35	0,055	0,106	0,156	0,211	0,261	0,313	0,367	0,415	0,466	0,515
0,3	0,054	0,104	0,154	0,208	0,257	0,310	0,363	0,411	0,461	0,511
0,25	0,053	0,103	0,152	0,205	0,254	0,307	0,359	0,408	0,457	0,507
0,2	0,052	0,102	0,151	0,203	0,252	0,304	0,357	0,405	0,455	0,505
0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5

B étant l'induction maxima dans l'entrefer, δ le double entrefer et α un coefficient numérique représentant le rapport de la résistance magnétique totale d'un circuit à la résistance de l'entrefer seul et variant de 1,2 à 2,2; coefficient qu'on peut se donner à l'avance pourvu que les dimensions des électros soient ensuite déterminées de telle façon qu'on obtienne bien cette valeur. En remplaçant N par son expression (10) et Φ par $Bl \frac{D\pi}{2p} \beta$ dans la formule (1), on obtient la formule définitive :

$$Dl = \frac{EI}{c} \left(\frac{q}{2} \right) \frac{113 . 10^6 . k'' \rho}{\eta_1 k \alpha \beta X \mathfrak{B}^2 \delta} \qquad (11)$$

où D est le diamètre d'alésage de l'induit en centimètres, l sa longueur. Dans les machines à deux induits et fer tournant l représente la longueur d'un seul induit. β le rapport de l'arc occupé par un pôle à la quantité $\frac{\pi D}{2p}$.

On remarquera que la dernière formule est indépendante du nombre de pôles ; on arrive donc à cette conclusion intéressante que les dimensions d'une machine à courants alternatifs pour une puissance, un nombre de périodes, et une chute de tension, donnés sont *théoriquement* indépendantes de la vitesse.

Toutefois pratiquement on observe une différence entre les machines à petite et à grande vitesse ; cela tient à ce que pour un nombre de périodes donné le nombre de pôles augmente lorsque la vitesse diminue, et comme d'ailleurs le nombre de spires par pôles est aussi indépendant du nombre de pôles, on voit que l'espace entre ceux-ci restant fixe, la section d'un pôle, pour un même diamètre, diminue forcément et, par suite, que l'induction augmente.

Si donc l'on ne veut pas aussi une induction trop élevée dans l'enduit on est obligé de diminuer l'intensité du flux dans l'entrefer et par suite d'augmenter la valeur de Dl comme le carré de cette diminution.

Il est facile de tenir compte de ce dernier point en introduisant dans la formule le nombre d'ampères-tours par centimètre, de la conférence de l'induit. Une étude des différentes machines exécutées montre que ce nombre varie très peu pour des machines de même type et de puissances diverses.

Une seule exception à cette règle est celle des machines à enroulement superficiel où l'entrefer et les ampères-tours augmentent beaucoup avec le diamètre.

En posant :

$$N = \frac{\pi D \gamma}{I\left(\frac{q}{2}\right)} \qquad (12)$$

on a relevé sur différents types de machines les valeurs suivantes de γ.

TABLEAU IV

Valeur de γ.

ALTERNATEUR (Fig 1.)	ALTERNATEUR (Fig. 2.)	ALTERNATEUR (Fig. 6.)	ALTERNATEUR (Fig. 7.)
38	70 à 130	40	30

Pour obtenir la valeur de D en fonction des ampères-tours par centimètre, nous substituerons la valeur de N tirée de l'équation (12) dans l'expression (10). On obtient alors en se servant de l'équation (1) et en posant :

$$c = \frac{np}{60},$$

(n nombre de tours par minute), l'expression finale du diamètre :

$$D = \sqrt[3]{\frac{1}{l} \frac{EI\left(\frac{q}{2}\right)}{n} \frac{215.10^6\, p\delta\alpha X}{\eta_1 k \gamma^2 \beta\, k'' \rho}} \qquad (13)$$

Cette expression montre bien la dépendance du diamètre avec la vitesse.

Exemple 1. — Supposons qu'il s'agisse de calculer les dimensions d'un alternateur à courant alternatif simple de 35 kilowatts du type de la figure 1 avec les durées suivantes :

Tension.	1000	volts
Intensité	41	»
Facteur de puissance .	0,85	»
Fréquence	50	»
Vitesse par minute . .	600	tours

La chute de tension à pleine charge doit être de 20 p. 100 ; on a donc :

$$\eta_1 = 0{,}8.$$

D'après le tableau IV on a :

$$\gamma = 38.$$

Prenons les valeurs suivantes des différentes constantes qui entrent dans l'expression du diamètre.

$$\beta = 0{,}75 \qquad k'' = 1{,}15$$
$$\rho = 0{,}8 \qquad \delta = 2 \times 0{,}5.$$

Le tableau III donne d'ailleurs pour X :

$$X = 0{,}311.$$

La longueur de l'induit sera supposée égale à 20 centimètres.

Nous avons d'abord :

$$p = \frac{50 \times 60}{600} = 5.$$

En substituant ces quantités dans l'équation (13), il en résulte :

$$D = \sqrt[3]{\frac{1}{20} \frac{41000}{0{,}8.600} \frac{216.10^6.5.2.0{,}5\ 0{,}311}{4.38^2.0{,}75.14{,}1.0{,}84}} = 71{,}5 \text{ cm.}$$

On arriverait au même résultat en partant de l'équation (11) et en posant B = 8800.

D'autre part, l'expression (12) donne :

$$N = \frac{75 \times \pi.38}{41} = 218 \text{ spires.}$$

Le tableau III permet de résoudre une série de problèmes par des machines exécutées et dont le plus fréquent est le suivant :

Exemple 2. — Un alternateur peut donner sur résistance sans induction ($\cos \varphi = 1$) et sous un certain voltage un courant de 100 ampères avec une chute de tension de 15 p. 100.

Quel est le courant que la machine pourra donner sous la même tension avec un facteur de puissance de 0,5? L'excitation est supposée constante.

On voit sur l'équation (10) que, toutes choses égales d'ailleurs, le courant I est proportionnel au rapport $\frac{X}{\rho}$. Nous avons indiqué comment la valeur ρ varie avec le facteur de puissance ; cette valeur étant très difficile à évaluer, nous admettrons que dans le premier cas cette valeur était égale à 0,7 et à 0,8 dans le second cas.

Le tableau III donne alors ($\eta = 0,85$) :

$$\text{Pour } \cos\varphi = 1, \quad X = 0,525$$
$$\text{Pour } \cos\varphi = 0,5 \quad X = 0,167.$$

Pour un facteur de puissance de 0,5 le courant sera donc :

$$\frac{100 \times 0,167}{0,525} \times \frac{0,7}{0,8} = 28 \text{ ampères.}$$

Un autre problème également intéressant est le suivant :

Exemple 3. — Une génératrice de 110 volts et 100 ampères, débitant sur un réseau dont le $\cos\varphi = 0,8$, a une chute de tension de 20 p. 100; quelle puissance pourait-elle donner si la chute de tension admise devait être seulement de 10 p. 100 ?

Dans le premier cas :

$$X = 0,287.$$

Dans le second cas :

$$X = 0,155.$$

Le facteur ρ reste sensiblement le même dans les deux cas. Les courants seront donc proportionnels aux valeurs de X, d'où pour la valeur de l'intensité du courant dans le second cas :

$$I = \frac{0,155}{0,287} \times 100 = 54 \text{ ampères.}$$

Comme la tension aux bornes est augmentée de 110 volts à $110 \times \frac{0.9}{0,8}$ ou 124 volts, le rapport des puissances sera de :

$$\frac{124 \times 54}{110 \times 100} = 0,61.$$

Exemple 4. — Une question non moins importante est celle de savoir à combien d'ampères montera le courant d'un alternateur donné lorsqu'on le met en court circuit.

Soit une machine de 100 ampères marchant sur résistance non inductive avec une chute de tension de 10 p. 100.

On a $\eta = 0,9$ et par suite $X = 0,436$.

La valeur de ρ sera prise égale à $\frac{2}{3}$.

En court-circuit $X = 1$ et $\rho = 1$. On a donc, pour le courant dans ce dernier cas :

$$\frac{100 \times \frac{2}{3}}{0,436} = 153 \text{ ampères.}$$

Plus la machine a une chute de tension petite, plus elle est influencée par le décalage de phase de la machine. Ainsi pour une chute de tension de 5 p. 100 ($\eta = 0,95$) et en conservant la même valeur de ρ, le rapport des intensités sur résistances mortes et en court-circuit est de :

$$\frac{0,31}{0,05} = 6.$$

Au contraire pour 50 p. 100 de chute de tension ($\eta = 0,5$), on a :

$$\frac{0,865}{0,5} = 1,73.$$

Le tableau III montre du reste qu'une machine qui a une chute de tension de 25 p. 100 avec un $\cos\varphi$ de 0,9, aura une chute de tension de 35 p. 100 lorsque le facteur de puissance devient égal à 0,65.

Puissance maxima d'un alternateur

Considérons un alternateur ayant une résistance apparente donnée et supposons qu'on veuille déterminer la puissance maxima qu'il est capable de fournir, pour un $\cos\varphi$ imposé, sans avoir égard à la chute de tension.

Ce problème n'a réellement d'intérêt que dans le cas de machine où une grande chute de tension est sans inconvénient, car il est facile de montrer que la chute de tension pour

la puissance maxima est toujours très grande.

La puissance apparente est égale à $E_1 I$, ou, en remplaçant E_1 par sa valeur (8)

$$I\sqrt{E^2 - e^2\cos^2\varphi} - Ie\sin\varphi$$

est

$$e = RI.$$

Si l'on annule la dérivée par rapport à I, on trouve pour l'intensité correspondant au travail maximum

$$I = \frac{E}{R\sqrt{2}} \times \frac{1}{\sqrt{\sin\varphi + 1}}. \qquad (14)$$

Dans ce cas :

$$\tau_1 = \frac{1}{R\sqrt{2}\sqrt{\sin\varphi + 1}}.$$

Pour un facteur de puissance égal à l'unité, τ_1 est égal à 0,7.

Pour $\cos\varphi = 0$, la chute de tension proportionnelle est de 0,5.

L'expression de la puissance maxima est :

$$W = \frac{E^2}{R\sqrt{2}}\frac{1}{\sqrt{\sin\varphi + 1}}. \qquad (15)$$

Circuits amortisseurs Leblanc

Plusieurs des machines données dans les tableaux précédents étaient munies de circuits spéciaux dits amortisseurs et dus à M. Leblanc.

Ce dispositif consiste, comme on le sait, en une véritable cage d'écureuil fixée sur les pôles inducteurs et constituant un circuit analogue aux enroulements fermés sur eux-mêmes des moteurs asynchrones.

Ce circuit est le siège d'une force électromotrice induite par la réaction de l'armature et produisant un courant qui est sensiblement opposé au courant induit, et qui par conséquent neutralise une partie de cette réaction. Les circuits amortisseurs ont d'après leur inventeur deux buts bien distincts :

1° Réduction de la self-induction de l'induit, ou, en d'autres termes, augmentation de la puissance de l'alternateur ;

2° Augmentation de la stabilité dans le fonctionnement en synchronisme.

La réduction de la self-induction de l'armature ne s'applique évidemment qu'aux machines à courant alternatif simple où le flux induit est lui-même alternatif, car dans les machines à courants alternatifs polyphasés le flux induit étant constant et tournant synchroniquement avec l'inducteur, il ne se déplace pas par rapport aux circuits fermés sur eux-mêmes et par suite n'y induit aucun courant [1].

Les circuits amortisseurs toutefois entrent en fonction, lorsque deux alternateurs à courants alternatifs polyphasés étant en parallèle, l'un d'eux tend à ralentir ou à augmenter de vitesse ; il agit alors comme induit de moteur ou de génératrice à champ tournant pour contrebalancer cette tendance.

Nous nous contenterons pour le moment d'étudier uniquement l'influence de l'amortisseur sur la self-induction de la machine. Il convient pour ce but de décomposer le champ stationnaire de la réaction de l'induit en deux composantes tournant en sens inverses et à la vitesse angulaire $2\pi c$. Il va sans dire que de ces deux champs tournants, seulement sera amorti celui qui tournera en sens inverse de l'amortisseur. En considérant un seul champ, soient : $\nu_1\Phi_1$ le flux propre de l'induit, Φ_1 étant la partie de ce flux entourée par l'amortisseur ;

$\nu_2\Phi_2$ le flux propre des éléments fermés sur eux-mêmes, Φ_2 étant la portion de ce flux entrant dans l'induit ;

ν_1 et ν_2 sont les coefficients de fuites d'après Hopkinson ;

φ_1, angle de décalage entre la force électromotrice induite et le courant ;

φ_2, décalage entre la force électromotrice et le courant dans les circuits amortisseurs.

On sait que $\nu_2\Phi_2$ est perpendiculaire à la résultante Φ_a de Φ_1 et de $\nu_2\Phi_2$, puisqu'il n'y a au-

---

(1) Voir Geraldy. Procédé Hutin et Leblanc pour assurer la marche en synchrone des machines alternatives. *Lumière Électrique*, t. XLVI, p. 651, 1892. — Guilbert. Le nouveau matériel générateur de la Société d'éclairage et de force. *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 55, 1897.

cune autre force électromotrice dans les circuits amortisseurs que celle induite par le flux Φ_1, de même la force contre électromotrice à self-induction apparente est perpendiculaire à la résultante Φ_m des flux $\nu_1 \Phi_1$ et Φ_2.

Le diagramme de la figure 10, analogue à celui employé par M. Blondel dans sa théorie des moteurs asynchrones [1], représente ces diverses quantités en grandeur et phase.

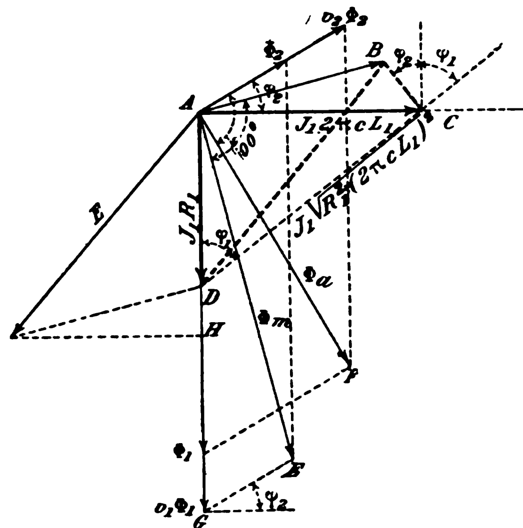


Fig. 10.

Calculons les longueurs BC.

Les triangles semblables ABC, AEG donnent :

$$\frac{BC}{EG} = \frac{AC}{AG},$$

ou

$$\frac{BC}{2\pi c L I_1} = \frac{\Phi_2}{\nu_1 \Phi_1} = \frac{\sin\varphi_2}{\nu_1 \nu_2};$$

d'où :

$$BC = \frac{2\pi c L_1 I \sin\varphi_2}{\nu_1 \nu_2}.$$

Traçons à part le quadrilatère ACDD (fig. 11), on voit immédiatement que tout se passe comme si les circuits amortisseurs n'existaient pas et si la résistance ohmique de l'induit était augmentée d'une quantité $\frac{2\pi n L_1}{v_1 v_2}\sin\varphi_2 \cos\varphi_2$ et la self-induction diminuée d'une quantité BC $\sin\varphi_2$ est $\frac{2\pi c L_1 \sin^2\varphi_2}{v_1 v_2}$.

Ces valeurs auraient du reste pu s'écrire immédiatement en considérant le système comme un véritable transformateur dont la résistance du secondaire est supposée négligeable devant sa self-induction.

Si nous appelons R' et L' la résistance et la self-induction, apparentes nous aurons :

$$R' = R + \frac{2\pi\omega L \sin\varphi_2 \cos\varphi_2}{\nu_1 \nu_2}$$

et

$$2\pi c L'_1 = 2\pi c L_1 - \frac{2\pi c L_1 \sin\varphi_2}{\nu_1 \nu_2}.$$

On peut remarquer que l'angle φ_2 est très

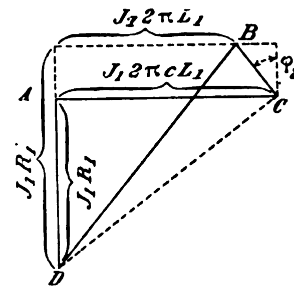


Fig. 11 [1].

voisin de 90° ; les expressions précédentes peuvent donc s'écrire approximativement :

$$R' = R$$

$$L'_1 = L_1\left(1 - \frac{1}{\nu_1 \nu_2}\right),$$

ou, en appelant L_2 le coefficient primitif de self-induction du champ stationnaire, L'_2 le coefficient de self-induction en tenant compte de l'amortisseur,

$$L'_2 = L_1 + L'_1\left(1 - \frac{1}{v_1 v_2}\right) = L_2\left(1 - \frac{1}{2 v_1 v_2}\right) \quad (16)$$

La figure 12 représente une forme de circuits amortisseurs imaginée par M. G. Giles. Les électro-aimants inducteurs ont une forme analogue à celle des machines Thury avec cette différence que l'enroulement est disposé en deux circuits parallèles dont divers points au même potentiel continu sont reliés par des

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 97.

[1] A la partie supérieure de la figure lire $J_1\ 2\pi c L'_1$.

conducteurs a_1, a_2 de résistances très faibles. La réaction de l'induit engendre alors dans les circuits locaux formés par les inducteurs

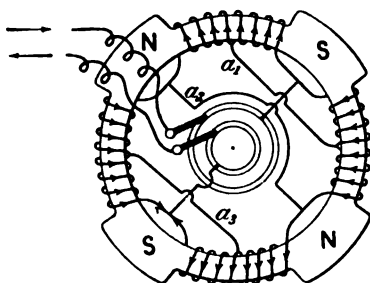


Fig. 12.

et les conducteurs a_1, a_2 des courants identiques à ceux des amortisseurs Leblanc.

Nous ne pouvons terminer cette étude sans dire quelques mots d'une question particulièrement discutée jusqu'ici : celle de la chute de tension admissible dans un alternateur quelconque. En effet, la valeur électrique d'une machine dépend uniquement de sa chute de tension à admettre dans une bonne machine et elle est l'échelle d'après laquelle la classification des dynamos à courants alternatifs peut être établie.

Evidemment une réponse générale ne peut être faite dans ce cas ; on sait en effet que dans les transports d'énergie une certaine réaction d'induit est nécessaire : de même les génératrices avec une grande chute de tension ont l'avantage de donner un courant non dangereux en court-circuit.

Dans la fabrication du carbure de calcium ou dans l'électrométallurgie où des court-circuits fréquents se produisent, l'emploi des alternateurs à forte chute de tension est tout indiqué ; le même avantage existe également dans les machines d'éclairage, mais il est fortement contre-balancé par la difficulté du réglage.

Nous n'avons aucun renseignement sur le degré de perfectionnement auquel sont arrivés les réglages automatiques ; le peu de renseignements que nous possédons sur ce sujet ne nous inspirent qu'une confiance limitée. Du reste le réglage automatique est rendu difficile avec le courant alternatif par suite des grandes distances généralement employées et de la présence des transformateurs, causes qui donnent aux pertes une assez grande importance ; c'est pourquoi on lui préfère souvent une régulation à la main.

La chute de tension doit dans ces cas être réduite le plus possible, surtout s'il y a des moteurs sur le réseau, car l'électricien du tableau de distribution n'est pas toujours un régulateur parfait.

Examinons maintenant la chute de tensions dans des machines existantes et ayant la réputation d'être « bonnes » et cela pour un facteur de puissance donné, 0,8 par exemple. Pour 12 machines de constructions diverses, la chute de tension variait de 20 à 27 p. 100 ce qui correspond à un η moyen de 0,77.

Ces chiffres sont un peu plus grands que ceux qu'on suppose exister en général bien qu'ils se rapportent à des types très appréciés. Si l'on tient compte de ce que le poids et le prix d'une machine sont très influencés par la valeur du coefficient η, il semble peu probable de pouvoir établir une machine de prix moyen et ayant une chute de tension inférieure à 15 ou 20 p. 100. On nous permettra de rectifier ici une façon erronée, quoique très répandue dans la pratique, d'exprimer la puissance d'un alternateur. Les catalogues ont l'habitude d'indiquer la puissance en chevaux ou en kilowatts, sans aucune indication sur le cos φ avec lequel la machine peut fournir la puissance annoncée. Cette manière de s'exprimer ne prouve rien, car, on le voit facilement après ce que nous avons vu plus haut, une machine capable de donner 100 kilowatts sur résistances mortes peut être telle qu'elle ne puisse dépasser une charge vraie de 50 kilowatts si elle travaille sur un réseau inductif. Tant au point de vue de l'acheteur que du fournisseur, et cela pour éviter toute confusion et toute contestation, il est donc nécessaire de préciser dans chaque cas la valeur du facteur de puissance ainsi que la valeur de la chute de tension.

J. Fischer-Hinnen,
Le Raincy, Seine-et-Oise.

ÉTUDE SUR LES COMPTEURS ÉLECTRIQUES

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES TARIFS DE VENTE DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Tandis que tous les autres modes d'éclairage ont trouvé, dès l'origine de leurs applications, une base définitive de tarification, l'éclairage par l'électricité, malgré son énorme développement, est resté, jusqu'à présent, soumis aux contrats de vente les plus divers et souvent les plus fantaisistes (1). Les clients du gaz payent toujours et partout au mètre cube, ceux du pétrole au litre. Les clients de l'électricité, différemment traités suivant le caprice des sociétés exploitantes, ont à subir des tarifications variées, pour la plupart arbitraires, parmi lesquelles nous relevons :

1. Tarif à forfait;
2. Tarif au compteur à taxe fixe;
3. Méthode de la réduction, basée sur la considération de la consommation totale;
4. Méthode de la réduction, basée sur la considération de la consommation par lampe installée;
5. Tarif réduit sur les circuits spéciaux de jour;
6. Tarif réduit sur les circuits de force motrice et de chauffage;
7. Méthode Wright (demande maximum);
8. Méthode Andrew;
9. Tarif mobile basé sur la considération de la courbe de charge (Norwich, Bristol).

De toutes ces tarifications la dernière est la seule rationnelle, ainsi que nous allons l'établir.

Mais, avant de discuter les modes de tarification, il convient de rechercher tout d'abord quelle est l'unité qui doit servir de base : le watt-heure, l'ampère-heure ou l'heure ? Il faut évidemment établir une première distinction entre les applications à l'éclairage et les applications aux moteurs et examiner ensuite dans chaque genre les cas particuliers qui peuvent se présenter.

Nous nous placerons, dans la première partie de cette étude, à un point de vue exclusivement théorique. Le compteur d'énergie semble, à priori, fournir une solution parfaitement équitable; mais, en fait, et spécialement lorsqu'il s'agit d'applications à l'éclairage, cette solution ne constitue qu'une approximation : car, si elle établit rigoureusement le décompte de ce qu'a fourni la compagnie, vendeuse d'énergie, elle ne fait pas connaître avec la même exactitude ce qu'a reçu, en bougies-heures, le client qui s'est abonné pour recevoir de la lumière et non des watts-heures, dont il n'a que faire. En toute rigueur, ce dernier ne devrait payer que sur les indications d'un « photomètre enregistreur », mais il est malheureusement assez difficile de concevoir une réalisation et une application pratique d'un tel appareil.

Le client qui achète les bougies-heures et paye les watts-heures qu'il a consommés, ne paye que sur une base conventionnelle pour les deux raisons suivantes :

1. Pour une lampe donnée, à une époque déterminée de sa vie, la consommation spécifique, c'est-à-dire le nombre de watts absorbés par bougie, est fonction complexe du voltage.

2. La consommation spécifique est variable avec l'âge de la lampe et dépend également des régimes antérieurs.

C'est donc à tort que l'on admet, assez généralement, que la tarification basée sur le nombre de watts-heures consommés est rigoureuse : elle ne constitue qu'un simple compromis, ou, si l'on préfère, une première approximation.

Il n'y a donc pas lieu d'écarter systématiquement et sans examen tout compteur

(1) Voir l'étude récente de M. Pellissier sur les tarifs de vente de l'énergie électrique dans *L'Éclairage Électrique* du 18 septembre 1897, p. 537.

qui mesurerait soit des ampères-heures, soit simplement des heures de consommation et il convient, dans le choix d'un système, de mettre en parallèle sa simplicité avec son degré d'approximation.

En pratique le voltage du réseau de distribution d'éclairage reste constant à 2 ou 3 p. 100 près soit au-dessus, soit au-dessous du voltage normal et on peut, entre ces limites, assimiler à un fragment de droite la fonction réprésentative de la consommation spécifique : dans ces conditions on est conduit à admettre que les écarts positifs et négatifs se compensent mutuellement aussi bien pour les watts-heures que pour les bougies-heures, c'est-à-dire qu'en fait la consommation totale en watts-heures et le nombre total de bougies-heures fournies sont ceux qu'on aurait obtenus en maintenant pendant le même temps la lampe à son voltage normal ; la consommation totale en watts-heures est donc pratiquement proportionnelle à la consommation totale en ampères-heures. D'autre part, d'après les remarques précédentes, pour déterminer le prix de la bougie-heure, on est fatalement conduit, quelle que soit l'unité adoptée comme base, à faire une hypothèse sur le régime et la durée moyenne de la vie des lampes.

Nous en concluons immédiatement :

1. Que pour toute installation comprenant soit une lampe, soit un seul groupe de lampes mises en service simultanément, on ne saurait, en employant des appareils plus compliqués, atteindre une exactitude plus grande que celle que donne le simple compteur horaire.

2. Que pour les installations comprenant plusieurs lampes indépendantes il est indifférent, au point de vue de l'exactitude, d'employer soit un watt-heure-mètre, soit un ampère-heure-mètre.

Il nous reste à considérer le cas où l'énergie électrique fournie est utilisée à l'actionnement des moteurs. Si l'on fait abstraction de la variation du rendement des appareils récepteurs il y a bien, dans cette application, proportionnalité entre le nombre des watts-heures fournies et l'effet utilisé par l'abonné : d'une façon générale l'emploi du compteur d'énergie semble donc assez justifié pour le contrôle de la marche des moteurs; toutefois les applications de ce genre présentent très souvent en pratique, soit une consommation constante soit une consommation journalière moyenne constante, et le décompte peut être, dans bien des cas, établi sur les indications d'un simple compteur horaire.

Discussion des différents modes de tarification. — Une tarification rationnelle doit avoir pour but, ainsi que le définit M. Wilson [1] :

1. De favoriser le développement de l'industrie électrique;

2. De réduire le prix de revient de l'unité;

3. De permettre à l'électricité de lutter avantageusement contre le gaz;

4. D'établir d'une façon équitable la redevance de l'abonné envers la compagnie venderesse.

Nous ajouterons comme opinion personnelle qu'on doit considérer l'énergie électrique comme une valeur dont le cours serait périodiquement variable (la période comportant un intervalle de vingt-quatre heures et le cours pour une même heure dépendant des saisons). Cette théorie découle immédiatement des deux faits suivants :

1° Pour une usine déterminée le prix de revient de l'unité est, à très peu près, inversement proportionnel au nombre total d'unités fournies (il l'est rigoureusement pour les usines à puissance hydraulique et à quelques pour cent près pour les usines mues par machines à vapeur);

2° Le taux de la demande est essentiellement variable suivant les heures de la journée et de la nuit en raison même du double rôle que doit remplir l'énergie électrique : concurrence aux moteurs pendant le jour, concurrence aux illuminants pendant la nuit.

---

(1) *The Electrician*, 29 mai 1897.

Il s'ensuit qu'une méthode de tarification rationnelle doit comporter deux prix de base distincts : l'un (prix fort) applicable pendant les heures où l'énergie est utilisée à l'éclairage; l'autre (prix réduit) pendant la fraction complémentaire de la période de vingt-quatre heures. Les horaires réglant l'application de ce « tarif mobile » devront être naturellement variables avec les saisons; ils devront être établis de façon à augmenter autant que possible le coefficient de charge de la station; le prix de revient se trouvera ainsi, par suite de la parfaite utilisation du matériel, réduit à son minimum, dans le double intérêt du consommateur et de la société exploitante.

Il suffit de réfléchir à l'influence considérable que joue le mode de tarification dans l'exploitation des stations pour reconnaître que c'est là, pour les sociétés productrices, une question vitale. Les embarras financiers qu'ont rencontrés nombre d'entre elles eussent été facilement évités si cette question avait été plus sérieusement étudiée.

Le tarif a forfait n'est évidemment applicable qu'au cas spécial des installations à consommation régulière et bien déterminée.

Nous n'insisterons pas sur ce que présente d'irrationnel le tarif au compteur, à taxe fixe; après ce que nous avons exposé, il nous suffira de dire avec le Dr Hopkinson que « ce n'est pas l'expression d'une opinion, mais la constatation d'un fait ». Quant au système de la réduction sur le nombre total d'unités consommées, ce n'est qu'une fausse application du principe de la vente en gros.

La réduction basée sur le nombre d'unités consommées par lampe installée constitue la première tentative faite dans le but d'augmenter le coefficient de charge; mais elle ne le remplit que très imparfaitement et présente, en outre, le grave inconvénient de tendre à limiter le nombre de lampes à installer.

Il est presque inutile de faire remarquer combien serait coûteux le système compliqué des circuits spéciaux appliqués d'une façon générale.

Les méthodes de Wright et d'Andrew sont, au point de vue théorique, plus rapprochées de la solution idéale que nous avons exposée. Elles sont, comme on le sait, basées sur la « demande maxima » individuelle; elles substituent donc, arbitrairement d'ailleurs, la considération des courbes de consommation à celle de la courbe de charge totale; cette erreur de principe a une importance très appréciable, car la demande maxima ne se produit généralement pas simultanément chez tous les abonnés (à Brighton, par exemple, la somme des demandes maxima est de 50 p. 100 supérieure au débit maximum total). Les méthodes basées sur la demande maxima sont, d'autre part, assez difficiles à exposer clairement à la compréhension des abonnés. Or, la méthode de tarification ne doit pas seulement être rationnelle, elle doit encore être simple et d'une application pratique.

Gisbert Kapp a été l'un des premiers à préconiser la méthode du « tarif mobile ». Il a imaginé pour son application « un commutateur de temps » qui met alternativement en service l'un ou l'autre des deux compteurs qui doivent être installés chez chaque abonné et qui enregistrent respectivement les unités consommées à prix fort et les unités consommées à prix réduit. Une telle installation est compliquée et coûteuse et on rencontre en outre certaines difficultés pour régler les horaires d'une façon rationnelle.

A part le dispositif de Kapp, on a proposé, dans le même but, deux autres solutions qui n'exigent plus qu'un seul compteur; mais tous deux, par contre, exigent l'emploi de fils supplémentaires reliant les abonnés à la station et réservés exclusivement au service du compteur lui-même.

Nous décrirons plus tard en détails de quelle façon nous avons éliminé toute complication et toute difficulté dans le nouveau système que nous proposons et qui permet d'appliquer la méthode du tarif mobile, indifféremment aux watts-heures, ampères-heures et heures-mètres; mais auparavant nous résu-

merons, afin de permettre les comparaisons et pour donner une idée exacte de la valeur des appareils actuels, les résultats d'une étude faite avec autant de soins que d'impartialité sur quelques compteurs-moteurs des plus généralement employés sur les réseaux.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES PRINCIPAUX SYSTÈMES DE COMPTEURS ACTUELLEMENT EN USAGE

On sait qu'on peut répartir les compteurs électriques en deux grandes classes :

1. Compteurs à intégration discontinue ;
2. » » continue.

Les compteurs de la première classe comportent en principe 3 organes : 1° un mécanisme d'horlogerie ; 2° un watt ou ampère-heure-mètre ; 3° un intégrateur. On leur a fait un reproche très justifié : le mécanisme d'horlogerie constitue un organe compliqué et exige un remontage périodique, soit à la main, soit automatique ; dans le premier cas il en résulte une sujétion onéreuse pour la Compagnie et très gênante pour les clients ; dans le second cas, comme il est impossible d'éviter l'oxydation des pièces de contact, on se trouve exposé aux arrêts subits qui ont fait la défaveur du système. Quant à leur exactitude, elle ne dépend évidemment que du soin apporté à la construction des appareils.

Parmi les compteurs à intégration continue nous ne considérerons que les compteurs-moteurs en négligeant les compteurs électrolytiques, que la pratique a définitivement condamnés. Les compteurs-moteurs semblent, au point de vue théorique, offrir une solution assez simple et surtout élégante : ils ne comportent plus que deux organes : un moteur et un frein et, si l'on veut bien négliger les facteurs gênants, on peut démontrer mathématiquement que l'énergie consommée devrait être simplement proportionnelle à la vitesse de rotation. Aussi leur a-t-on fait (et leur fait-on encore... faute de mieux) largement crédit de leur exactitude. Comme pour les compteurs à intégration discontinue, celle-ci dépend évidemment, dans une large mesure du soin apporté à la fabrication, mais il n'est cependant pas loisible d'atteindre le même degré d'approximation, car si l'on peut réduire au minimum les résistances de frottement, causes de perturbation, il est impossible de les annuler complètement. On ne peut donc se rendre compte de la valeur réelle de ces appareils que par une étude expérimentale directe.

Nos essais ont porté, ainsi que nous l'avons déjà dit, sur les compteurs les plus généralement employés sur les réseaux et considérés comme les meilleurs ; quatre systèmes différents ont été essayés que nous désignons, pour éviter toute contestation ayant un caractère commercial, par les lettres A, B, C et D.

Méthode d'essai. — On a déterminé, pour différents régimes, le nombre de secondes n employées par le premier mobile pour faire un tour complet et la déviation correspondante du wattmètre.

Les indications du compteur étant proportionnelles à la vitesse $\frac{1}{n}$ du premier mobile, la quantité d'énergie électrique enregistrée par le compteur pendant l'unité de temps peut être représentée par $Q\frac{1}{n}$, Q étant un facteur de proportionnalité.

D'autre part, les indications du wattmètre sont proportionnelles au produit de l'intensité i du courant qui traverse l'enroulement fixe et de l'intensité i' du courant traversant le circuit mobile en dérivation, et comme $i' = \frac{e}{R}$, R étant la résistance du circuit en dérivation, on a

$$\delta = \frac{1}{C}\frac{ei}{R}, \qquad (1)$$

où C est la constante du wattmètre.

Par conséquent, on a la relation

$$Q\frac{1}{n} = RC\delta. \qquad (2)$$

Le facteur de proportionnalité Q étant ainsi déterminé en fonction de la charge, on en a

déduit les courbes d'erreurs, en adoptant pour la valeur de la *constante* de l'appareil la plus petite des valeurs de Q.

Pour simplifier les calculs, on a, dans quelques tableaux remplacé (ce qui ne change aucunement les résultats relatifs), les quantités C et R initiales par le facteur 1.

Contrôle du wattmètre. — Nous avons recherché, au préalable, quelle pouvait être l'erreur commise en employant le wattmètre à la mesure de l'énergie, lorsque le courant est fortement décalé et que la fonction représentative de ses valeurs instantanées est de forme complexe. Dans ce but nous avons imaginé la méthode graphique suivante qui permet de déduire très simplement la valeur de

$$W = \frac{1}{T}\int_{t=0}^{t=T} e\, i dt,$$

de la connaissance des deux fonctions $e = f_1(t)$ et $i = f_2(t)$. Supposons qu'on ait relevé directement un certain nombre de points de ces deux courbes et soit e_t et i_t deux valeurs particulières correspondant à une même valeur de t. Posons $e_t \times i_t = q^2$ et traçons la courbe qui représente en coordonnées polaires la fonction q en prenant $\frac{2\pi t}{T}$ pour valeur de l'angle α fait par le vecteur considéré avec le

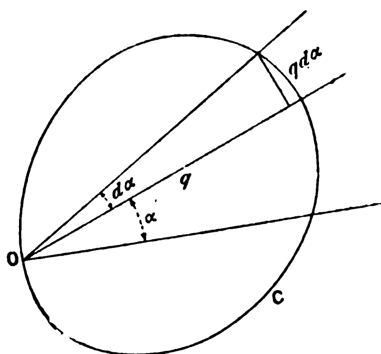


Fig. 1.

vecteur d'origine. On a, en désignant par Σ la surface totale enveloppée par cette courbe (déduction faite des parties correspondantes aux valeurs imaginaires, qui doivent être considérées comme négatives) $W = \frac{\Sigma}{\pi}$. En effet, soit C (fig. 1) la courbe polaire considérée, on a, en désignant par ds la surface comprise entre deux secteurs infiniment voisins

$$ds = \frac{1}{2} q \times q d\alpha,$$

or :

$$\alpha = \frac{2\pi}{T} t \qquad \text{d'où} \qquad d\alpha = \frac{2\pi}{T} dt,$$

d'où

$$2\, ds = q^2 \frac{2\pi}{T} dt,$$

et enfin

$$\int_{t=0}^{t=T} ds = \frac{\pi}{T}\int_{t=0}^{t=T} q^2 dt,$$

soit, comme nous l'avons annoncé

$$W = \frac{\Sigma}{\pi}.$$

Voici comment nous avons appliqué cette méthode au contrôle du wattmètre qui nous a servi pour nos essais aux laboratoires du Polytechnikum de Zurich. Nous avions à notre disposition un alternateur Ganz, à 6 pôles, faisant 720 tours par minute et donnant une courbe très complexe. Nous avons employé, pour la détermination des valeurs instantanées, la méthode bien connue de Joubert. Les valeurs de i ont été obtenues en plaçant en série, avec le récepteur inductif, une résistance sans self-induction aux bornes de laquelle on relevait le voltage. Les chiffres de la première colonne indiquent les lectures du disque du dispositif Joubert (faites dans un intervalle de 60 degrés, l'alternateur ayant 6 pôles); dans les seconde et troisième colonnes, sont données les déviations lues et corrigées, proportionnelles à la force électromotrice; les deux colonnes suivantes contiennent les données relatives à la détermination de i; enfin, dans la dernière, figurent les valeurs du radical $\sqrt{\delta_1\delta_2} = p$, proportionnelles aux valeurs de la quantité $q = \sqrt{e_t\, i_t}$:

***

Tableau I. — Contrôle du Wattmètre

Degrés de repérage.	Déviations galvanométriques				$p=\sqrt{\delta_1\delta_2}$
	δ_1		δ_2		
	lues.	corrigées.	lues.	corrigées	
42	6,2	»	— 40	»	— 15,7
40	7,1	»	— 31	»	— 14,8
38	8,2	»	—' 24	»	— 13.95
36	10	»	— 17	»	— 13
34	10,9	»	— 10,2	»	— 10,5
32	12	»	— 5	»	— 77
30	13	»	0	»	0
28	14,9	»	5	»	8,9
26	13,1	»	9,1	»	12,4
24	21,2	»	14	»	17,2
22	27,7	»	19,5	»	23,2
20	39	»	25	»	31,1
18	58,1	58,06	32	»	43
16	80	79,92	39	»	55,6
14	89,2	89,1	44,2	»	62,5
12	96	95,87	49	»	69
10	107	106,92	56	55,98	77
8	120,3	120,04	66,5	66,46	89
6	130,5	130,16	78	77,92	100
4	99,5	99,35	85	84,91	94,4
2	54	53 98	87	86,91	69
0	25,9	»	88	87,90	47 6
2	11	»	88,5	88,40	71,5
4	2	»	85,7	85,11	13
6	—' 1	»	81	80,92	— 9
8	— 2	»	76	75,94	— 12,5
10	— 3	»	70	69,95	— 14,3
12	— 3,5	»	61,8	61,77	— 16,1
14	— 4,8	»	55	54.98	— 16,2
16	— 5,7	»	46	»	— 16,12
18	— 6,4	»	39	»	— 15,8

Des chiffres de la dernière colonne, on a déduit la courbe polaire de la figure 2, relative à une demi-période. En planimétrant cette courbe, construite en portant une longueur de 2 mm pour $p = 1$, on a obtenu les valeurs suivantes pour l'aire de la boucle médiane B et les aires comprises entre l'axe vertical et les deux tronçons de courbe A et C :

$$s_1 = 1,6 \times 2 \text{ cm}^2, \quad s_2 = 58,95 \times 2 \text{ cm}^2, \quad s_3 = 0,9 \times 2 \text{ cm}^2;$$

par suite en tenant compte des signes dont doivent être affectées ces diverses valeurs et multipliant par le facteur 2 pour tenir compte de la partie symétrique de la courbe tracée, on a, pour la valeur de la surface Σ définie plus haut

$$\Sigma = K \times 4\,[58,95 - (0,9 + 1,6)].$$

K étant un facteur de proportionnalité facile à déterminer.

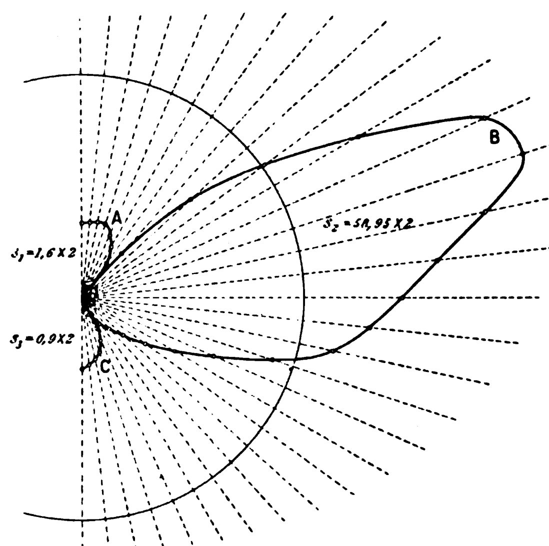


Fig. 2. — Courbe polaire déduite des essais relatifs au contrôle du wattmètre.

L'instrument employé pour la mesure de la force électromotrice donnant une déviation de 26 mm pour une différence de potentiel constante de 41,2 volts, une déviation de 1 mm correspondait donc à

$$\frac{41,2}{26} = 1,585 \text{ volt}.$$

D'autre part, l'intensité efficace du courant traversant la résistance sans induction était de 1,32 ampère et la différence de potentiel efficace entre les extrémités de cette résistance, de 85 volts ; par suite, cette résistance était de 64,5 ohms, de sorte qu'une valeur de 1 mm des déviations δ_2 correspondait à une intensité de

$$\frac{1,585}{64,5} \text{ ampère}.$$

Par conséquent, à une valeur de $q = 2$ mm, correspondait

$$\sqrt{1{,}585 \times \frac{1{,}585}{64{,}5}} \text{ watts,}$$

ce qui donne pour valeur de K :

$$K = \overline{\frac{1{,}585^2}{64{,}5}} \times 25$$

La méthode graphique nous donnait alors pour la valeur de la puissance dans les conditions de l'expérience,

$$W = \frac{\Sigma}{\pi} =$$

$$\overline{\frac{1{,}585^2}{64{,}5}} \times 25 \frac{4\,[58{,}95 - (0{,}9 + 1{,}6)]}{\pi} = 70 \text{ watts.}$$

Le voltage effectif aux bornes de la résistance inductive étant de 85 volts et l'intensité de 1,32 ampères, le facteur de puissance atteignait la valeur de 0,65.

Le wattmètre, étalonné à l'aide du courant continu, indiquait, dans les mêmes conditions, 70,05 watts ; ses indications, en courant alternatif, pouvaient donc être considérées comme exactes.

TABLEAU II. — DÉBIT SUR CIRCUIT SANS SELF-INDUCTION (COMPTEURS A, B et C)

C	R	δ	A		B		C		$\frac{2}{3}$ W
			n	Q'	n	Q'	n	Q'	
(0,003)	(2 × 250)	43,5	53,5	2 322	262,2	11 400	∞	∞	43,5
»		81	21,2	1 720	106	8 600	67,4	5 450	81
»		109	14,4	1 570	67	7 300	35,8	3 900	109
»	2 × 250 × 2	72	11	1 582	49,3	7 090	24,2	3 480	144,5
»	»	97	8	1 550	36,5	7 090	17,4	3 380	194
»	»	111	6,95	1 540	31	6 890	14,1	3 130	222
»	»	130	5,85	1 520	26	6 760	11,4	2 960	260
0,003 × 5,14	2 × 250	58,75	5	1 510	21,85	6 600	9,6	2 900	302
»	»	62,5	4,675	1 500	19,2	6 120	8,5	2 720	321
0,003 × 5,14	2 × 250 × 4	29	2,39	1 416					595
»		45,5	1,56	1 410					932
»		66,5	1,05	1 430					1 360
»		88	0,83	1 490					1 800
»		109,5	0,665	1 490					2 240
»		29,5			10,53	6 360	3,946	2 400	605
»		43,75			7,02	6 300	2,52	2 260	897
»		64,3			4,713	6 210	1,64	2 180	1 317
»		86,5			3,546	6 280	1,22	2 160	1 775
»		107,5			2,88	6 380	0,95	2 080	2 215
»		134			2,35	6 470	0,77	2 120	2 750
		151,25			2,05	6 370	0,69	2 140	3 100
		171,75			1,83	6 480	0,60	2 112	3 520
		188			1,65	6 400	0,56	2 140	3 860
0,003 × 30,2	2 × 250 × 2	207			1,5	6 390	0,5	2 120	4 240
		46,5			2,27	6 375			2 810
		59,6			1,745	6 270			3 600
		73			1,51	6 650			4 400
		87			1,25	6 510			5 250
		96,5			1,135	6 570			5 800
		108			1,035	6 700			6 520
		115			0,98	6 810			6 810

Résultats des essais. — Les appareils soumis aux essais étaient au nombre de quatre :

A type de 2 500 watts 100 volts.
B » 10 000 » 100 »
C » 5 000 » 100 »
D » 10 000 » 100 »

Pour le démarrage, nous avons trouvé les charges suivantes :

A 69 watts, soit environ 3 p. 100 de la charge max.
B 27 » » 0,27 p. 100 »
C 82 » » 1,6 » »
D 51,5 » » 0,51 » »

L'énergie absorbée par la dérivation était de :

A 3,78 watts, soit par an 35 kwh, soit à 0,80 le kwh, 26,40 fr.
B 2,63 watts, soit par an 23 kwh, soit à 0,80 le kwh, 18,40 fr.
C 5,65 watts, soit par an 50 kwh, soit à 0,80 le kwh, 40 fr.
D 8,55 watts, soit par an 75 kwh, soit à 0,80 le kwh, 40 fr.

Les tableaux II à V résument les résultats des essais; on n'y a fait figurer que les valeurs moyennes déduites de chaque série d'observations.

Dans tous ces tableaux, les chiffres des trois premières colonnes indiquent, respectivement, les valeurs de la constante C du wattmètre, celles de la résistance R du circuit mobile, exprimées en ohms, enfin les valeurs observées de la déviation du wattmètre. Dans la colonne *n* sont donnés les nombres de secondes employées par le premier mobile du compteur pour faire un tour complet.

Les cinquième, septième et neuvième colonnes du tableau II donnent les valeurs du facteur de proportionnalité Q, défini par la relation (2) dans laquelle on a pris, pour simplifier les calculs, égales à l'unité, les valeurs initiales ($0{,}003$ et 2×250) de C et de R; pour avoir les véritables valeurs de Q, il faudrait donc multiplier les nombres de ces colonnes par $0{,}003 \times 2 \times 250 = 1{,}5$. La dernière colonne donne les produits $CR\delta$ également calculés en faisant égales les valeurs initiales de C et R; pour avoir les watts, il faut, par suite, multiplier les nombres de cette colonne par 1,5.

Les deux dernières colonnes du tableau III donnent les valeurs véritables du facteur Q et de la puissance.

Dans le tableau IV, les colonnes I et E indiquent les valeurs de l'intensité et de la force électromotrice efficaces du courant alternatif employé ; dans la colonne suivante, sont donnés les produits de ces deux quantités qui ont permis de calculer cos φ. Dans les colonnes Q, relatives à chacun des compteurs, les valeurs du coefficient Q sont déduites de la relation (1) en donnant à C, R, δ et *n* les valeurs inscrites dans le tableau.

Les chiffres des diverses colonnes du tableau V ont les mêmes significations que ceux du tableau précédent.

Tableau III. — Débit sur circuit sans self-induction (compteur D)

C	R	δ	n	Q	Watts.
0,01135	4 × 250	64	4,07	2 942	725
	8 × 250	63	1,92	2 731	1 425
		93	1,28	2 680	2 100
		121,25	0,97	2 660	2 740
0,091	4 × 250	38,5	0,75	2 625	3 500
		46,5	0,62	2 628	4 220
		54	0,54	2 640	4 900
		68	0,40	2 570	6 180
		82,5	0,335	2 510	7 500
		94	0,300	2 560	8 550
		104	0,275	2 600	9 460
		125	0,235	2 660	11 350

Des nombres inscrits dans les colonnes Q et dans les dernières colonnes des tableaux II et III, on a déduit les courbes de la figure 3 qui donnent les valeurs de Q en fonction de la charge. Les courbes d'erreurs tracées sur la figure 4, ont été obtenues en prenant, ainsi qu'il a été dit, la plus petite des valeurs trou-

TABLEAU IV. — DÉBIT SUR CIRCUITS INDUCTIFS (COMPTEURS A, B ET C)

C	R	δ	Watts vrais.	I	E	Watts app.	cos φ.	A		B		C	
								n	Q	*n*	Q	*n*	Q
2 × 250 × 4	0,003 × 5,14	8,4	258	21,3	102	2 170	0,11	28,4	4 900	58	10 000	11,64	2 010
		11	338	11,2	103	1 147	0,296	8,67	1 950	31,65	7 150	10,15	2 290
		11.5	355	24,4	103,5	2 520	0,14	15,6	3 780	46	1 080	8,8	2 070
		12,5	384	5,48	104	570	0,675	5,88	1 521	28,45	7 300	10	2 560
		19,5	600	8,72	105	917	0,655	4,08	1 637	16,82	6 710	6,265	2 500
		50	1 540	18,35	104	1 908	0,81	149	1 521	6,4	6 550	2,18	2 240
		64,5	1 980	28,4	102	2 900	0,68	1,205	1 595	5,04	6 670	1,575	2 080
		68,5	2 100	23,2	103	2 390	0,836	1,1	1 540	4,55	6 375	1,53	2 150
		84,5	2 600	34,4	102	3 500	0,745	0,87	1 510	3,74	6 410	1,2	2 080
		88	2 700	33,7	102	3 440	0,785			3,6	6 490	1,15	2 062
		93,5	2 880	40,5	101,5	4 100	0,685			3,38	6 470	1,04	1 990
		106,25	3 280	38,63	104	3 940	0,82			2,905	6 310	0,945	2 060
		129	3 980	43,8	101	4 410	0,90			2,47	6 550	0,79	2 087
		135	4 150	49	101	4 940	0,84			2,43	6 750	0,76	2 110
		146,5	4 510	48,5	101	4 900	0,92			2,17	6 500	0,70	2 100
		170	5 250	54	102,5	5 500	0,95			1,835	6 400	0,617	2 150

TABLEAU V. — DÉBIT SUR CIRCUITS INDUCTIFS (COMPTEUR D)

C	R	δ	Watts vrais.	I	E	Watts apparents.	cos φ.	*n*	Q
0,01158	4 × 250	61	705	8,66	104	900	0,78	3,81	2 680
		56	649	12,4	103	1 200	0,50	3,71	2 400
		51	590	17.4	105	1 830	0,32	3,81	2 250
		50	580	22,7	103,5	2 350	0,25	3,64	2 110
		48	555	26,8	101,5	2 720	0,20	3,39	1 880
		49	566	30,3	101,5	3 080	0,185	3,23	1 830
	8 × 250	81	1 870	25	103,5	2 590	0,72	1,27	2 400
		77	1 780	31,6	101	3 190	0,56	1,27	2 260
		77	1 780	35,8	101	3 620	0,49	1,25	2 220
0,091	4 × 250	43	3 910	40,6	101	4 100	0,95	0,645	2 520
		43.5	3 960	45,7	100,5	4 600	0,86	0,63	2 480
		43,5	3 960	48,5	100	4 850	0,82	0,63	2 480
		68	6 190	67	99	6 620	0,935	0,41	2 530

TABLEAU VI DES ERREURS EN FONCTION DE LA CHARGE (NON INDUCTIVE)

RÉGIME DE CHARGE		0,05	0,1	0,2	0.3	0,4	0.5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Erreurs p. 100	A.	30	11,3	6,35	2,85	0,64	0	0	0,64	1,85	3,6	5
	B.	6,6	2,1	0	1,8	3	3,55	4,1	4,65	5,20	5,75	6,30
	C.	81,5	32,8	11,9	5,45	2,6	1,2	0,48	0,0	0,48	0,96	1,43
	D.	»	12	6,8	5,4	4	2,8	1,6	0,4	0,6	2,4	4,3

vées de Q pour valeur constante de cette quantité. Ainsi pour le compteur A on a trouvé Q = 1410 pour des puissances comprises entre 595 × 1,5 et 932 × 1,5 watts, soit pour

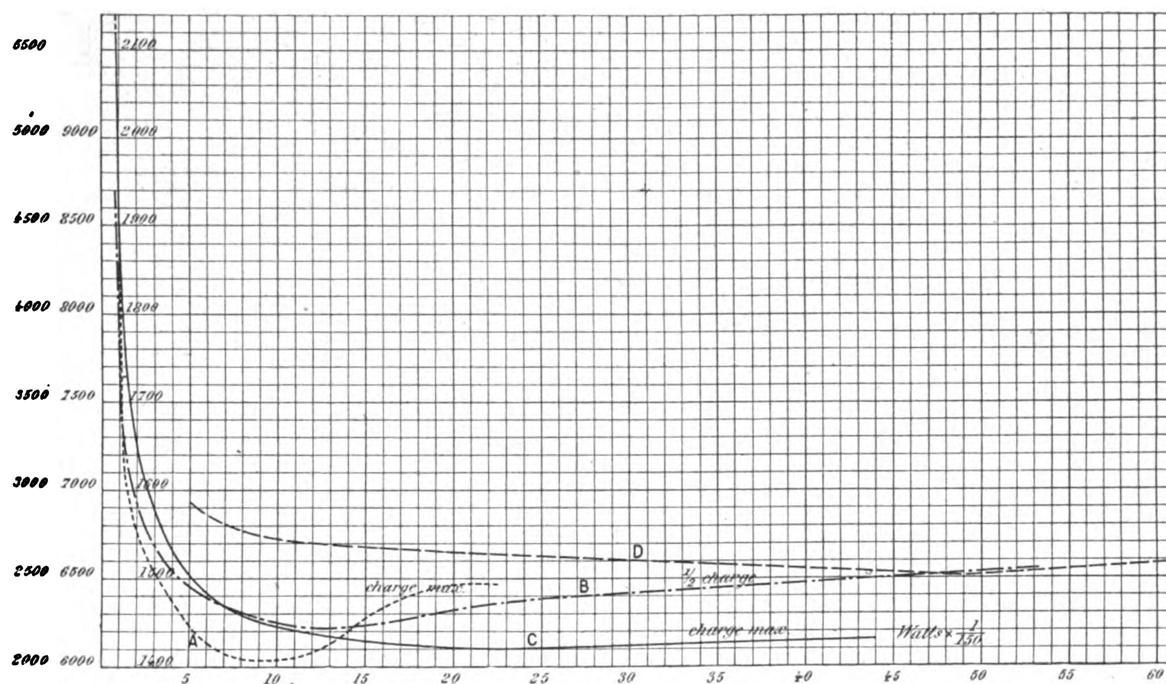


Fig. 3. — Courbes de la variation de Q en fonction de la charge sur circuit non inductif.

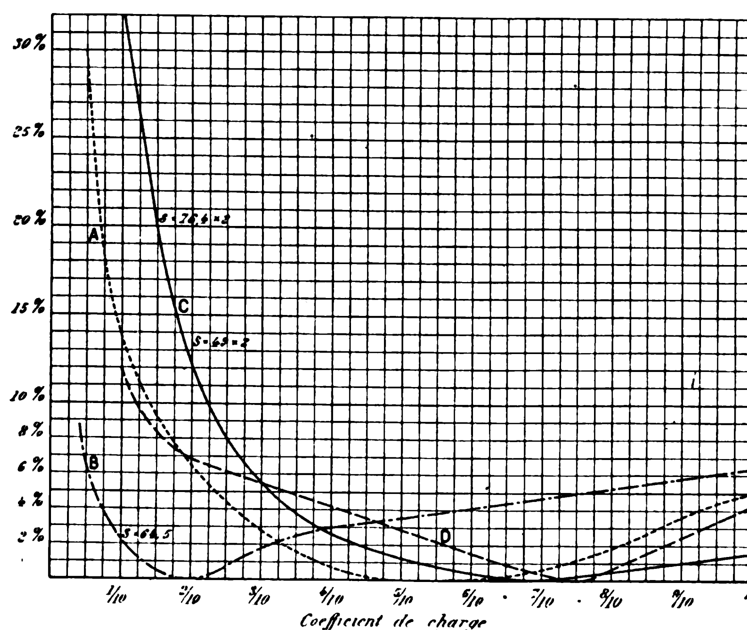


Fig. 4. — Courbes des erreurs en fonction de la charge, exprimée en dixièmes, sur circuit non inductif.

une charge de la moitié de celle pour laquelle (2 500 watts) le compteur était établi. D'autre part pour une charge de 260 × 1,5 = 390 watts, on a trouvé Q = 1 520. L'erreur,

définie comme il a été dit, est donc de

$$\frac{(1520 - 1410)\,100}{1410} = 7{,}8 \text{ p. } 100.$$

pour une charge égale à

$$\frac{390}{2500} = 0{,}16 \text{ environ de la charge maxima.}$$

En portant en abscisse ce dernier nombre et en ordonnée 7,8 on a obtenu un point de la courbe A.

Le tableau VI donne les valeurs des erreurs déduites de ces courbes pour diverses valeurs de la charge.

Les tableaux VII et VIII donnent les valeurs des erreurs, calculées de la même manière à l'aide des données des tableaux IV et V pour diverses valeurs de la charge sur circuits inductifs.

Tableau VII des erreurs des compteurs A B C en fonction de la charge (inductive)

Cos φ.	A		B		C	
	Charge.	Erreur.	Charge.	Erreur.	Charge.	Erreur °/o
0,11	0,1	235	0,025	60	0,05	4,3
0,296	0,13	34,5	0,0325	15	0,065	+ 9,0
0,14	0,14	159	0,035	72	0,07	— 1,4
0,675	0,15	4,2	0,0375	17,5	0,075	21,9
0,655	0,235	12	0,058	7,9	0,117	19
0,81	0,60	4,2	0,15	5,3	0,30	6,6
0,68	0,78	9,2	0,195	7,2	0,39	— 1
0,836	0,83	5,5	0,202	2,5	0,415	2,4
0,745	1	3,4	0,25	3	0,50	— 1
0,785			0,27	4,3	0,53	— 1,8
0,685			0,28	4	0,56	— 5,25
0,82			0,32	1,4	0,64	— 1,9
0,90			0,39	5,3	0,78	— 0,6
0,84			0,41	8,5	0,82	0,5
0,92			0,45	4,5	0,89	0
0,95			0,50	2,9	1	2,4

Tableau VIII des erreurs du compteur D sur charge inductive

Charge	0,07	0,065	0,059	0,058	0,055	0,056	0,187	0,178	0,178	0,39	0,39	0,39	0,61
Cos φ. .	0,78	0,50	0,32	0,25	0,20	0,185	0,72	0,56	0,49	0,95	0,86	0,82	0,935
E p. 100	+6,8	—4,4	—10	—16	—25	—27	—4,4	—10	—11,5	+0,5	—1,5	—1,5	+1

CONCLUSIONS

Des résultats précédents nous devons conclure que :

1. L'exactitude des compteurs moteurs est bien loin d'atteindre le degré d'approximation qu'on leur suppose d'habitude. La proportionnalité théorique ne se retrouve, à beaucoup près, dans aucun des types essayés et les erreurs relevées sont d'une importance telle, qu'elles permettent de juger ces appareils comme inacceptables sur les circuits dépourvus de self-induction même avec les tolérances que comporte un contrôle industriel.

2. Sur les circuits possédant de la self-induction les erreurs peuvent atteindre des taux si élevés que les indications fournies par les appareils n'ont plus aucun sens.

On remarquera que l'influence d'un décalage est de faire retarder les types A, B et D et de faire avancer le type C. On peut interpréter très facilement ce résultat qui tient à certaines particularités de constructions : toutefois, comme nous nous sommes imposé de ne pas faire connaître les noms des constructeurs il nous est impossible d'exposer ces justifications. Nous devons également laisser de côté, pour les mêmes raisons l'analyse du caractère général que présentent les courbes relevées.

3. La consommation des circuits dérivés est d'une façon générale assez élevée : elle atteint en moyenne celle d'une lampe de 10 bougies brûlant 2 heures par jour.

4. La charge de démarrage n'est acceptable que pour les types B et D : les types A et C laissent sans contrôle la consommation d'une seule lampe de 16 bougies.

Il convient en outre de remarquer qu'à ces erreurs de proportionalité relevées pour un état déterminé de l'appareil viennent s'ajouter les erreurs dues à la variation de la « constante » en fonction du temps : cet effet est dû en partie à la variation des résistances de frottement (état d'usure des pièces en contact, effets de la dilatation, etc.) et en partie à la variation du champ des aimants dits pourtant « permanents » qui agissent sur le disque de frein : cette dernière cause en particulier peut se présenter à la suite d'un court-circuit et donner alors lieu à des variations brusques très importantes.

Enfin, si l'on se place à un point de vue général, on doit exiger qu'un compteur destiné à une application industrielle présente aussi bien dans ses organes que dans son ensemble un caractère de robustesse qui fait totalement défaut aux appareils connus sur le principe des compteurs-moteurs.

C.-E.-L. Brown et J.-L. Routin.

ENDOSMOSE ÉLECTRIQUE (1)

II. — Électrolyse et Osmose

Les expériences analysées dans le chapitre I, Électrolyse seule, ont été faites avec des auges électrolytiques séparées en deux compartiments, sans diaphragme poreux et en évitant tout passage de liquide d'un compartiment dans l'autre.

Les faits énoncés par Daniell et Miller amenaient à la conception d'un passage des liquides du compartiment positif au compartiment négatif, mais sans préciser sous quel état de combinaison le passage avait lieu et sans permettre d'en déterminer les causes.

Les expériences suivantes de Napier (*Philosoph. Magazine*, 3e série, t. XXIX, ann. 1846, p. 10-21) ont eu pour objet cette étude : Détermination de l'état de combinaison sous lequel le passage a lieu.

Une auge électrolytique est formée de deux compartiments séparés par une paroi poreuse. Les compartiments sont remplis d'une même dissolution ou de dissolutions différentes. Napier cherche à résoudre les questions suivantes : 1° la dissolution du compartiment positif passe-t-elle dans la dissolution du compartiment négatif, lorsque le courant galvanique traverse le liquide?

Les corps migrants passent-ils à l'état de combinaison sous lequel ils ont été dissous, ou passent-ils à l'état de substances réduites par l'électrolyse?

Les expériences suivantes sont destinées à résoudre ces deux questions :

1° Les deux compartiments sont remplis d'une même dissolution de 500 grains de sulfate de cuivre dissous dans 20 onces d'eau, les électrodes sont en cuivre. Napier constate que le poids de cuivre, 250 grains, déposé à l'électrode négative, est environ le double du poids de cuivre que l'on aurait pu extraire des 500 grains de sulfate placés primitivement dans le compartiment négatif, 257 grains de cuivre avaient été dissous à l'électrode positive, la dissolution positive avait diminué de 6 onces et l'augmentation du poids de la solution négative était de 4 onces.

L'expérience, répétée successivement avec deux, quatre, six couples, montre que l'excès du poids de cuivre déposé sur le poids de cuivre de la solution mise au début dans le compartiment négatif augmente avec le nombre des éléments.

Napier conclut de ces expériences qu'il y a

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 9 et du 16 octobre, p. 49 et 106.

passage de cuivre du compartiment positif au compartiment négatif.

Le résultat des expériences de Napier n'est pas d'accord avec celui des expériences de Daniell et Miller. Ces derniers admettaient le transport de certaines bases, mais concluaient à l'impossibilité du transport de l'oxyde de cuivre ou du cuivre.

Napier conclut au passage du cuivre du compartiment positif au compartiment négatif sous une forme qu'il reste à déterminer.

Sans chercher à concilier par des hypothèses les résultats opposés de Daniell et Miller d'une part et de Napier d'autre part, désaccord que l'on ne peut pas attribuer au diaphragme et que l'insuffisance des données sur le diaphragme, le temps de l'expérience, la force électromotrice employée, ne permettent pas de résoudre, nous admettons le passage vérifié sur beaucoup d'autres sels par les expériences de Napier.

Pour étudier la direction suivie par les substances migrantes et l'état de combinaison sous lequel le passage a lieu, Napier choisit les dissolutions de manière que les réactions, dans le compartiment négatif, permettent de voir à quel état de liberté ou de combinaison ces substances passent.

Les compartiments positif et négatif sont remplis successivement des dissolutions suivantes :

Compartiment positif.	Compartiment négatif.
Sulfate de cuivre	Solution de potasse très diluée
»	Cyanure de potassium
Cyanure double de K et Cu	Potasse diluée
» K et Ag	»
» K et Au	»
» K et Au	Acide azotique
» K et Ag	»
» K et Cu	»
Cyanure de cuivre	Acide sulfurique.

Les réactions observées dans le compartiment négatif sont celles que produirait l'addition dans le liquide négatif du liquide remplissant le compartiment positif.

Le liquide du compartiment positif n'a donc subi aucune décomposition électrolytique avant le passage à travers la cloison poreuse.

Ces conclusions sont vérifiées par l'expérience suivante :

Le cyanure et l'acide de l'expérience précédente sont réunis par une dissolution intermédiaire. Deux vases poreux remplis, l'un d'une dissolution de cyanure de potassium, l'autre d'acide azotique, sont placés dans une même dissolution d'azotate d'argent et constituent l'auge suivante :

Compartiment positif.	Compartiment intermédiaire.	Compartiment négatif.
Cyanure de K.	Azotate d'argent.	Acide azotique.

Après le passage du courant, une quantité appréciable de cyanure de potassium existe dans le compartiment intermédiaire, le compartiment négatif contient un peu d'azotate de potasse et d'argent.

Les expériences de Napier établissent : 1° le passage de substances du compartiment positif au négatif; 2° le passage par endosmose des sels non décomposés par le courant, en même temps que des décompositions électrolytiques sont produites dans chaque compartiment.

L'étude des acides amène Napier à une division des phénomènes en deux groupes : passage de l'eau à travers les parois, correspondant aux expériences de Reuss, passage des sels correspondant aux expériences de Daniell et Miller.

Deux vases poreux sont remplis l'un d'acide chlorhydrique, l'autre d'eau distillée; l'électrode positive est placée dans l'acide, l'électrode négative dans l'eau. Les deux vases poreux sont plongés dans un même vase rempli d'eau distillée. Les niveaux sont sur un même plan. Le courant d'une batterie de neuf couples traverse les liquides pendant cinq heures. A la fin de l'expérience « la cellule positive a perdu un huitième d'once. La solution du vase était légèrement acide donnait un précipité avec l'azotate d'argent, et avait perdu une once et demie. Le compartiment négatif avait perdu une once et demie,

ne changeait pas la couleur bleue du papier « litinus » et ne donnait aucun précipité avec l'azotate d'argent ». L'acide chlorhydrique est donc passé en très petite quantité dans le vase intermédiaire et n'a pas pénétré dans le compartiment négatif.

En renversant les conditions, plaçant l'électrode positive dans l'eau du vase poreux, l'électrode négative dans l'acide chlorhydrique et maintenant le courant de la batterie de 9 couples pendant seize heures, Napier trouve que l'acide du compartiment négatif ne subit aucune altération, tandis que le compartiment positif perd une once et demie et le liquide du vase de verre augmente de une once et quart. L'endosmose a lieu seulement entre les compartiments contenant de l'eau.

Les résultats d'expériences semblables faites avec l'acide azotique et l'acide sulfurique sont analogues.

La proportion d'acide qui est passée du compartiment positif dans le compartiment négatif est nulle ou très faible, dans le même cas la proportion d'eau est très grande. Le poids d'eau qui traverse la paroi poreuse est d'autant plus grand que le poids d'acide qui a traversé est plus faible, sans que les proportions suivant lesquelles le passage a lieu puissent être précisées. Aucune relation n'existe entre la somme des décompositions observées dans les auges et les poids d'eau qui ont traversé les parois poreuses.

Les conclusions très nettes de Napier sont les suivantes :

1° Un courant d'électricité positive qui traverse un liquide est toujours accompagné d'un courant de liquide qui marche dans la même directien;

2° Le passage a lieu par endosmose, sans décomposition préalable, si le liquide contient un sel ou un acide susceptible de décomposition; le courant d'endosmose est principalement, sinon totalement limité au sel ou à l'acide, qui sont transportés dans l'eau, et par conséquent l'augmentation de volume du liquide autour de l'électrode négative est nulle ou très faible;

3° Quand la quantité d'électricité que la batterie est capable de produire est plus grande que celle que peut conduire le sel ou l'acide, le surplus passe à travers l'eau, l'entraînant avec lui et amenant ainsi un excès de liquide dans le compartiment négatif; le même effet a lieu quand l'eau ne contient ni sel, ni acide en solution; de là le fait bien connu que l'endosmose électrique est plus considérable quand l'eau est pure et que les courants qui la produisent ne donnent pas naissance à une décomposition chimique, ou du moins, ne déterminent qu'une décomposition à peine sensible.

En résumé, deux traits caractérisent le mémoire de Napier (de la Rive, *Archives des Sc. phys. et nat. Bulletin de Genève*, t. II, an. 1846, p. 353) :

1° La distinction établie entre le transport par endosmose des corps solides dissous dans l'eau, et celui de l'eau elle-même, transports qui n'ont pas lieu en général en même temps;

2° Le transport du liquide même de l'électrode positive à l'électrode négative, est d'autant plus considérable que le courant éprouve une plus grande résistance à passer.

III. — Comparaison des résultats de l'électrolyse seule avec les résultats de l'électrolyse et osmose.

Deux séries d'expériences sont faites, la comparaison est rendue difficile par la différence des appareils et des méthodes, le choix des sels, choix convenable pour suivre le problème de Napier, mais complexe pour rapprocher les résultats des expérimentateurs précédents.

Une comparaison entre les résultats de l'électrolyse seule et de l'élecrolyse et osmose nécessitait l'emploi d'un même appareil rempli d'un seul liquide, l'application d'une même méthode par le même expérimentateur.

L'ensemble de ces conditions a été réalisé par M. G. Wiedemann (*Ann. de Pogg*,

t. XCIX, p. 182-198) (*Annales de Chimie et de Physique*, t. LII, an. 1858, p. 325).

1. *Recherches avec appareil sans diaphragme.*

1. *Méthode.* — Le mélange des liquides est évité en disposant l'expérience de telle sorte que les liquides restent toujours superposés par ordre de densités décroissantes.

L'appareil de M. G. Wiedemann (fig. 12),

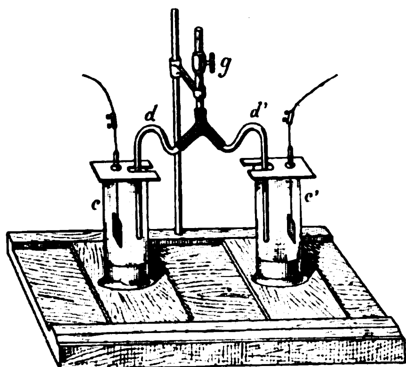


Fig. 12. — Appareil de G. Wiedemann.

se compose de deux éprouvettes *c c'*, remplis du liquide à étudier, fermées à la partie supérieure par des plaques de verre qui livrent passage à deux tubes de verre *d d'*, constituant les branches latérales d'un Y renversé. La troisième branche de l'Y porte un caoutchouc et un robinet *g* qui permettent de faire pénétrer, par aspiration, le liquide des éprouvettes dans le tube, de réunir les deux éprouvettes et de maintenir le tube rempli de liquide.

Les électrodes sont formées de deux lames de métal, fixées à deux fils de platine qui traversent les plaques de verre fermant les éprouvettes. Le courant produit par 12 à 16 éléments Daniell, est maintenu pendant dix à douze heures. Lorsque l'expérience était terminée, le robinet était ouvert, les liquides des tubes retombaient dans les éprouvettes, et M. G. Wiedemann analysait les liquides contenus dans chacune des éprouvettes.

Par suite de la disposition de l'appareil, aucun mélange des liquides des deux éprouvettes n'était possible, ainsi que l'a constaté M. G. Wiedemann.

Les liquides étudiés ont été les acides sulfurique, azotique étendus d'eau, des dissolutions de potasse, de soude, de sulfate de cuivre, d'azotate d'argent, de chlorure de sodium.

2. *Résultat général.* — M. G. Wiedemann trouve dans tous les cas une différence d'appauvrissement au voisinage des deux électrodes, résultat que l'on peut énoncer sous la forme suivante :

Lorsqu'un courant galvanique traverse une dissolution homogène d'un acide, d'une base ou d'un sel métallique, dont tous les points sont à la même température, placée dans deux vases communiquant par un orifice assez étroit pour empêcher le mélange des liquides des deux compartiments, les électrodes étant plongées dans les compartiments respectifs : 1° le courant galvanique produit une augmentation de poids de l'acide dans le compartiment positif, ou un passage de l'acide du compartiment négatif dans le compartiment positif; 2° le courant galvanique produit une augmentation de poids de la base ou du métal dans le compartiment négatif, ou un passage de la base ou du métal du sel du compartiment positif dans le compartiment négatif.

3. *Résultats numériques.* — Les résultats numériques sont les valeurs de concentration initiales et finales des dissolutions, les valeurs des poids de substances contenues au début et à la fin dans les deux compartiments, les valeurs des poids des métaux dissous ou déposés sur les électrodes.

M. G. Wiedemann calcule les fractions d'équivalent des substances qui ont passé d'un compartiment dans l'autre, nombres appelés par lui fraction d'équivalent d'une substance transportée d'un pôle à l'autre, nombres que Hittorf désigne sous le nom de nombres de transport. L'ensemble des nombres sera donné plus loin, dans un tableau où sont résumées toutes les recherches.

Les résultats numériques présentent un double intérêt, par la comparaison des résultats obtenus par M. G. Wiedemann avec les résultats de Hittorf et de d'Almeida, par la comparaison des résultats obtenu en employant un appareil sans diaphragme avec les résultats trouvés en se servant d'un appareil diaphragmé.

4. *Comparaison des résultats obtenus par M. G. Wiedemann et d'Almeida.* — Un parallélisme peut être établi entre l'étude de l'azotate d'argent et du sulfate de cuivre faite successivement par d'Almeida et M. G. Wiedemann.

Une différence existe dans le moyen employé pour produire l'acidité. D'Almeida ajoute directement l'acide à la dissolution; M. G. Wiedemann laisse l'acide se développer par suite de l'électrolyse, en employant pour la décomposition du sel des électrodes de platine lorsque la dissolution doit être acide, et des électrodes d'argent ou de cuivre, lorsque la neutralité doit être conservée.

La différence de la forme sous laquelle les deux auteurs ont présenté les résultats ne permet pas une comparaison directe; mais on peut déduire des expériences de d'Almeida, la fraction d'équivalent transportée dans le cas de l'azotate d'argent, et des expériences de M. G. Wiedemann, la variation de concentration des dissolutions de sulfate de cuivre.

Azotate d'argent, fractions d'équivalent transportées.

	d'Almeida.	Wiedemann.
Dissolution acide. . . .	0	0,236
Dissolution neutre . . .	0,479	0,528

Sulfate de cuivre, excès du poids du sel déposé dans le compartiment négatif sur le poids de sel décomposé dans le compartiment positif.

	d'Almeida.	Wiedemann.
Dissolution acide. . . .	0gr,140	0gr,134
Dissolution neutre . . .	0gr,010	0gr,131

Les différences des résultats avec les deux dissolutions sont dans le même sens, plus accentuées dans les expériences de d'Almeida que dans les expériences de M. G. Wiedemann, fait attribuable à la disposition prise pour augmenter l'acidité. L'acide dans les expériences de d'Almeida est répandu dans tout le dissolvant, tandis que l'acide formé est localisé dans le voisinage de l'électrode positive dans les expériences de M. G. Wiedemann.

Les deux mémoires amenent à la même conclusion : augmentation de l'inégalité d'appauvrissement quand la proportion d'acide libre est augmentée.

5. *Comparaison des résultats obtenus par M. G. Wiedemann et par Hittorf.* — La comparaison des résultats expérimentaux de M. G. Wiedemann et de Hittorf est directe, par suite de la définition des nombres appelés par M. G. Wiedemann fractions d'équivalent d'une substance transportée d'un pôle à l'autre, et des nombres que Hittorf désigne sous le nom de nombres de transport. Ces nombres sont, les uns et les autres, déduits de pesées et de dosages, sans faire intervenir aucune théorie. La comparaison est résumée dans le tableau suivant :

	Wiedemann.	Hittorf.
Sulfate de cuivre. . . .	33,7	35,6
Azotate d'argent	52,82	47,44

Les différences des nombres donnés par M. G. Wiedemann et Hittorf sont faibles. Les résultats s'accordent pour montrer dans quel sens varie la concentration au voisinage des électrodes.

La précision des résultats est plus importante, lorsqu'on veut en déduire les données fondamentales de la théorie de Hittorf (*Ann. de Pogg.*, t. CIII, p. 93) et de l'interprétation des faits proposée par M. G. Wiedemann.

Si l'on se borne à considérer l'expérience, on voit que les expériences de M. G. Wiedemann vérifient le fait de la différence de concentration au voisinage des deux électrodes et rapprochées des expériences antérieures fixent les termes de ces variations.

L'ensemble des expériences montre, indé-

pendamment de toute théorie, dans quelle mesure les changements de concentration, au voisinage des électrodes, devront intervenir dans les phénomènes observés, lorsque les compartiments sont séparés par un diaphragme.

2. *Recherches avec un appareil divisé par un diaphragme.*

1. *Méthode.* — Pour étudier l'effet des diaphragmes avec le même appareil (fig. 12), M. G. Wiedemann arrête les branches latérales, plongées dans les éprouvettes à la moitié de la hauteur de l'éprouvette, ferme l'extrémité supérieure du tube qui plonge dans le vase négatif par une plaque poreuse. L'électrode positive est formée d'une lame de métal entrant dans la composition du sel placée au fond du vase, de manière à éviter les phénomènes d'endosmose qui seraient produits par le changement de concentration ou par l'acidité de la dissolution positive, si cette dissolution arrivait au contact de la paroi.

Lorsqu'au lieu d'un sel M. G. Wiedemann électrolyse un acide ou un alcali, il suffit, pour empêcher l'endosmose, de séparer l'éprouvette en deux parties par une plaque de verre disposée à une faible distance du fond, séparant le vase en deux parties et de placer l'électrode entre le fond et la plaque de verre.

2. *Résultats.* — Les liquides étudiés avec l'appareil diaphragmé ont été les acides sulfurique, azotique, étendus d'eau, les dissolutians de sulfate de cuivre, azotate de cuivre, azotate d'argent.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant : la troisième colonne contient sous la dénomination de Fraction totale d'équivalent entraîné, le nombre de centièmes d'équivalent, dont la dissolution a augmenté par suite du passage de la dissolution non décomposée et de la dissolution décomposée par électrolyse.

FRACTION D'ÉQUIVALENT TRANSPORTÉ POUR UN ÉQUIVALENT DE CUIVRE DÉPOSÉ

	APPAREIL sans diaphragme.	APPAREIL DIAPHRAGMÉ		
		Fraction totale d'équivalent entraîné.	Fraction d'équivalent entraîné par la dissolution non décomposée	Différence entre la fraction d'équivalent observée totale et la fraction d'équivalent entaînée par la dissolution non décomposée.
Acide sulfurique	0^{Eq},1763	0^{Eq},132	+ 0,045	0^{Eq},177
— ➙ + ...	0, 1888	0, 115	+ 0,0485	0, 1635
	0, 1763			
Moyenne. . .	0^{Eq},1804			
Acide azotique	0^{Eq},145	0^{Eq},102	+ 0,0218	0^{Eq},1238
— ➙ +				
Potasse.				
+ ➙ —	0, 23			
Soude.				
+ ➙ —	0, 157			
Sulfate de cuivre.				
+ ➙ — . . . . Élect. Pt	0, 183			
Élect. Cu	0, 337	0, 750	— 0,4106	0, 3494
Azotate de cuivre.				
+ ➙ — . . . . Élect. Cu	0, 368	0, 455	— 0,0586	0, 3964
Azotate d'argent.				
+ ➙ — . . . . Élect. Ag	0, 528	0, 6562	— 0,1506	0, 5056
Chlorure de sodium				
+ ➙ — . . . . Élect. Pt	0, 378			

Les conclusions déduites de l'ensemble des nombres trouvés par M. G. Wiedemann (*Ann. de Pogg*, t. XCXIX, p. 206), sont : lorsqu'un courant galvanique traverse une dissolution homogène d'un acide, d'une base ou d'un sel métallique dont tous les points sont à la même température, placée dans deux vases réunis par un orifice étroit, disposé de manière à éviter tout déplacement du liquide :

1° Le passage du courant produit une augmentation de poids de la base ou du métal dans la dissolution négative et une augmentation de poids de l'acide du compartiment positif;

2° Lorsque les deux compartiments sont séparés par une paroi poreuse;

L'augmentation de poids de la base ou du métal du compartiment négatif est plus grande que dans le cas où les auges sont réunies par un orifice étroit sans diaphragme.

L'augmentation de poids de l'acide du compartiment positif est plus faible.

3° L'augmentation de poids de base ou de métal du compartiment négatif, lorsqu'une paroi poreuse est interposée, est à peu près indépendante du degré de concentration, au moins entre certaines limites.

4° Lorsque la dissolution est partagée en deux parties par une paroi poreuse, une certaine quantité de liquide passe du compartiment positif dans le compartiment négatif. Ce passage s'observe aussi bien avec les dissolutions acides les plus conductives qu'avec les solutions salines.

5° Si l'on admet que l'accroissement de volume de la dissolution négative résulte uniquement du passage d'une certaine quantité de dissolution non décomposée, on voit que les quantités de dissolution qui ont traversé le diaphragme sont à peu près en raison inverse de la richesse saline de la dissolution et, par conséquent, contiennent des quantités de sel à peu près égales.

6° Si l'on retranche les quantités de sel qui existent dans le volume de dissolution, traversant, sans décomposition, des quantités totales de sel transportées, dans le cas d'une paroi poreuse, on obtient les quantités d'acide, de base, ou de métal, qui seraient passées si la paroi poreuse n'existait pas.

7° La quantité totale de sel traversant, dans le cas d'une paroi poreuse, et la quantité de sel contenue dans la portion du liquide qui traverse sans décomposition, augmentent un peu quand on étend d'eau la dissolution.

Le phénomène est suivi sans mesures explicites des phénomènes électriques, et sans autre hypothèse que celle du § 5.

IV. — Théorie chimique

Les expériences de Napier ramènent le problème à l'étude des cas suivants : 1° Étude du passage des liquides, par endosmose seulement, à travers un diaphragme, sans faire passer le courant galvanique à travers le liquide; 2° Étude du passage du liquide à travers le diaphragme, lorsque le liquide est traversé par le courant galvanique; 3° Comparaison des poids de substances qui traversent le diaphragme dans les deux cas précédents pour déduire l'action du courant.

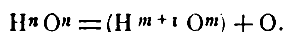
La solution serait simple si le diaphragme n'amenait pas une complication extrême, comme l'ont constaté Pouillet et Hittorf. Les inconvénients des diaphragmes perméables (terre cuite, matières organiques, argile, amiante), sont très nombreux d'après Pouillet (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XX, p. 1544): 1° Le passage du courant produit une élévation de température considérable dans les filets liquides qui se ramifient dans les pores de ces diaphragmes. 2° Les diaphragmes déterminent des phénomènes d'endosmose dont Pouillet n'a pu tenir un compte satisfaisant, même après en avoir déterminé les principales conditions et lois.

Les complications introduites par la présence du diaphragme semblent rendre impos-

sible l'établissement d'une théorie sur des mesures expérimentales. Graham tenta une interprétation basée sur des observations qualitatives (*Philosop. Magazine*, t. VIII, 1854, p. 154-155 et *Ann. de chimie et de physique*, 3e série, t. XLV, 1855, p. 5-90).

Remarquant que « la molécule de vapeur d'eau (*loc. cit.*, p. 17) est composée d'un équivalent d'H et d'un équivalent d'O, on pourra facilement admettre que la molécule d'eau liquide résulte de l'agrégation d'un certain nombre de molécules de vapeur, et peut, en conséquence, être représentée par n H O. Mais alors un nouveau groupement des atomes d'H et d'O devient non seulement possible, mais même probable.

» Au lieu de nous figurer ces derniers répartis par groupes linéaires H + O dans la molécule composée, nous pouvons faire de celle-ci un groupe binaire unique dont l'élément négatif serait un atome unique d'oxygène, et l'élément positif un radical constitué par la totalité de l'hydrogène uni à l'oxygène restant. En d'autres termes, nous pouvons décomposer de la manière suivante la formule de l'eau liquide :



$$H^n O^n = (H^{m+1} O^m) + O.$$

» Le nouveau radical que nous introduisons renferme donc un certain multiple de H O plus un équivalent d'H excédant et se rapprochant par ce dernier point des radicaux dont on fait usage en chimie organique. »

Le nouvel oxyde $H^{m+1}O^m + O$ sera plus facile à décomposer que H O, parce que l'aptitude basique du radical $H^{m+1}O^m$ doit diminuer avec les nombres d'équivalent d'hydrogène et d'oxygène qu'il renferme. Lors du passage du courant, l'eau prendra le groupement binaire dont la décomposition en un élément positif et un élément négatif est la plus facile.

Dans l'électrolyse de l'eau, la quantité d'eau qui s'accumule au voisinage du pôle négatif est proportionnelle au volume d'hydrogène recueilli, ou à chaque équivalent d'hydrogène déposé au pôle négatif correspond un nombre constant d'équivalents d'eau entraînée à ce même pôle et susceptible de traverser une cloison poreuse placée entre les deux électrodes.

On explique ces faits en admettant que l'élément positif du groupement binaire qui se décompose est non pas de l'hydrogène, mais un radical $H^{m+1}O^m$ qui, arrivé au pôle négatif, se dédouble en m H O + H.

Graham reconnaît que l'explication est insuffisante pour rendre compte de tous les phénomènes, mais elle montre comment des quantités d'eau considérables peuvent être mises en mouvement dans les décompositions chimiques qui s'opèrent.

L'explication précédente s'applique à l'eau seule, Graham montre la possibilité de l'étendre aux acides et aux bases, en remarquant que ces substances peuvent fixer et entraîner avec elles des quantités d'eau très grandes.

Dans l'étude des réactions, on néglige en général l'eau d'hydratation associée aux molécules; ces masses d'eau peuvent être très grandes. « L'acide sulfurique renferme déjà 49 équivalents d'eau, développe encore de la chaleur quand on lui ajoute un cinquantième équivalent, et probablement une molécule de cet acide est capable, dans une solution étendue, de s'unir chimiquement avec un très grand nombre, peut-être même avec un nombre indéfini de molécules d'eau. »

L'hypothèse de Graham est justifiée par les expériences de M. Bourgoin (*Annales de chimie et de physique*, 4e série, an 1868, t. XV, p. 47) et les expériences de M. Bouty résumées plus loin.

Graham ajoute : « Le fait d'une décomposition chimique s'effectuant au sein d'un diaphragme poreux et résistant est propre à manifester le mouvement et la disposition de l'eau associée en fortes proportions avec les substances qui prennent part à la réaction, de même que l'interposition d'un diaphragme met en évidence, dans les expériences de l'endosmose électrique, le transport de l'eau par le courant, transport

qu'on ne pourrait constater d'une autre manière. »

L'hypothèse de Graham est seulement l'indication d'une voie nouvelle pour expliquer les phénomènes, l'extension est compliquée, les mesures précédentes sont insuffisantes pour la développer. Expériences et théorie exigent des développements nouveaux.

(*A suivre.*)

G. GOURÉ DE VILLEMONTÉE.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Construction et essais d'un transformateur de 1 250 watts ;

Par H. CARHART [1].

L'auteur reproduit les données et les essais

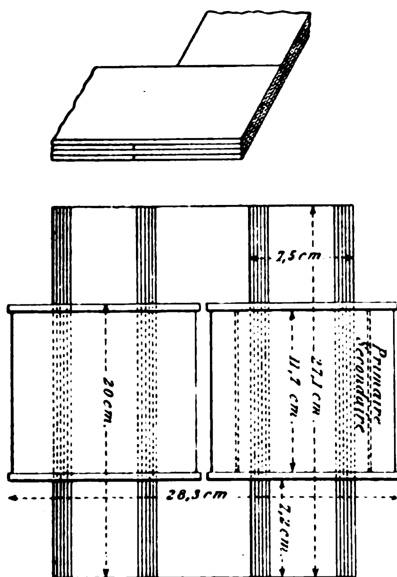


Fig. 1.

d'un transformateur de 1 250 watts calculé et construit par deux de ses élèves.

Les données sont les suivantes :

Fréquence	135 périodes
Induction maxima . .	3 000 gauss
Voltage primaire . .	1 000 volts
» secondaire .	100 »

Les résultats du calcul ont donné :

Nombre de spires primaires. .	1 200
» » secondaires.	120
Section du fer	46 cm^2
Densité de courant admise . .	3,94 amp par mm^2
Diamètre du fil primaire . . .	0,115 cm
» » secondaire . .	0,326 »
Longueur des tôles.	20 »
Épaisseur »	8,038 »

L'enroulement secondaire est disposé en deux couches de 30 spires chacune et l'enroulement primaire est bobiné par-dessus ; les principales dimensions et la façon d'assembler les tôles sont montrées sur la figure. Les tôles sont oxydées par recuit à l'air à la température de 923°.

Les résistances, les différentes pertes et le rendement ont été calculés et vérifiés par l'expérience ; on a obtenu ainsi :

	Mesurés.	Calculés.
Résistance du primaire à 40°.	8,46 ω	8,80
» du secondaire . .	0,083	0,0847
Pertes primaires à pleine charge	14,07	13,75
Pertes secondaires à pleine charge.	13,07	13,23
Pertes dans le fer	34,5	39,11
Courant à vide.	0,05	0,061
Rendement à pleine charge .	95,4	95

J. R.

Moteur asynchrone à courant alternatif simple ;

Par E.-J. BERG [1].

L'*American Electrician* donne une étude

[1] *The Electrical Engineer* ; New-York, 19 août 1897.

[1] *The Electrical Rewiew*, du 13 août 1897.

de l'auteur sur les moteurs à courant alternatif simple dont le but principal est de reproduire les résultats d'essais exécutés sur un moteur de 100 chevaux, construit par la General Electric C° et en fonction à la station centrale de la Narragansett Electric Lighting, Cie à Providence.

Ce moteur est accouplé avec une dynamo à courant continu. Il est à 12 pôles et fait 600 tours par minute. L'inducteur est enroulé directement pour 2 000 volts.

L'appareil de démarrage consiste en une bobine à self-induction disposée en série avec une résistance non inductive et connectée aux bornes principales. Un conducteur de jonction est établi entre le point de réunion de la bobine de réaction et de la résistance, en un point déterminé de l'induit.

Lorsque le moteur a atteint sa vitesse normale, l'appareil de démarrage est mis hors circuit.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant.

CHARGE	RENDEMENT	FACTEUR de puissance.
$\frac{1}{4}$ de charge .	68	0,43
$\frac{1}{2}$ » .	81	0,62
$\frac{3}{4}$ » .	84.5	0,72
Pleine charge .	82	0,76
25 p. 100 en plus	82	0,78

Les courbes de la figure contiennent ces chiffres ainsi que les valeurs du couple sur l'arbre et la vitesse. On voit que le couple maximum correspond à 150 chevaux.

La vitesse est sensiblement constante, car le glissement en pleine charge est seulement de 1,5 p. 100.

Notre confrère *The Electrical Review* fait remarquer que ces chiffres du rendement et du facteur de puissance ne sont pas très élevés et qu'on pouvait s'attendre à mieux; rien n'est plus vrai, car étant donné que le glissement est très faible et par suite aussi les pertes dans l'induit, on peut très facilement atteindre un rendement de 90 p. 100.

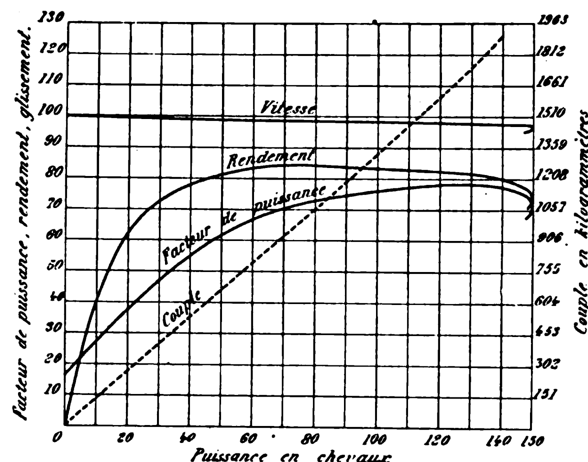


Fig. 1.

Quant au facteur de puissance, il est plus difficile d'en augmenter beaucoup la valeur.

Le courant de démarrage est seulement de 30 à 50 p. 100 de celui en fonctionnement pour un même effort de la circonférence de la poulie. Ce n'est du reste pas très important, puisque le moteur démarre toujours sans charge.

J. R.

Perturbations des transmissions télégraphiques sous-marines par les tramways électriques;

Par A.-P. TROTTER [1].

Les tramways électriques ont été inaugurés à Cape-Town, le 6 août 1896; une seule ligne, celle de Mowbray, fut d'abord mise en service, avec quelques voitures; les rails de 40,5 kg au mètre courant étaient éclissés avec soin au moyen de joints « Chicago », en sorte que la différence de potentiel entre l'usine et les extrémités de la voie était très faible : entre 0,5 et 1 volt; pas plus de 0,2 à 0,3 ampère passaient entre les dynamos et les plaques de terre à l'usine. Depuis, plu-

[1] Communication faite à l'Institution des Ingénieurs électriciens de Londres.

sieurs autres lignes ont été mises en service avec une augmentation des pertes à la terre.

Malgré la faiblesse des pertes, dès le premier jour, les transmissions télégraphiques furent tellement troublées par le fonctionnement des tramways électriques que les employés pouvaient à peine déchiffrer les signaux enregistrés par le siphon-recorder. Lorsque les nouvelles lignes furent en service, la lecture devint absolument impossible. Les ingénieurs de la compagnie télégraphique, et M. Trotter pour la compagnie des tramways cherchèrent le remède à apporter à cet état de choses; la solution était rendue particulièrement difficile par la sensibilité de l'appareil télégraphique et par les conditions spéciales de l'exploitation des câbles.

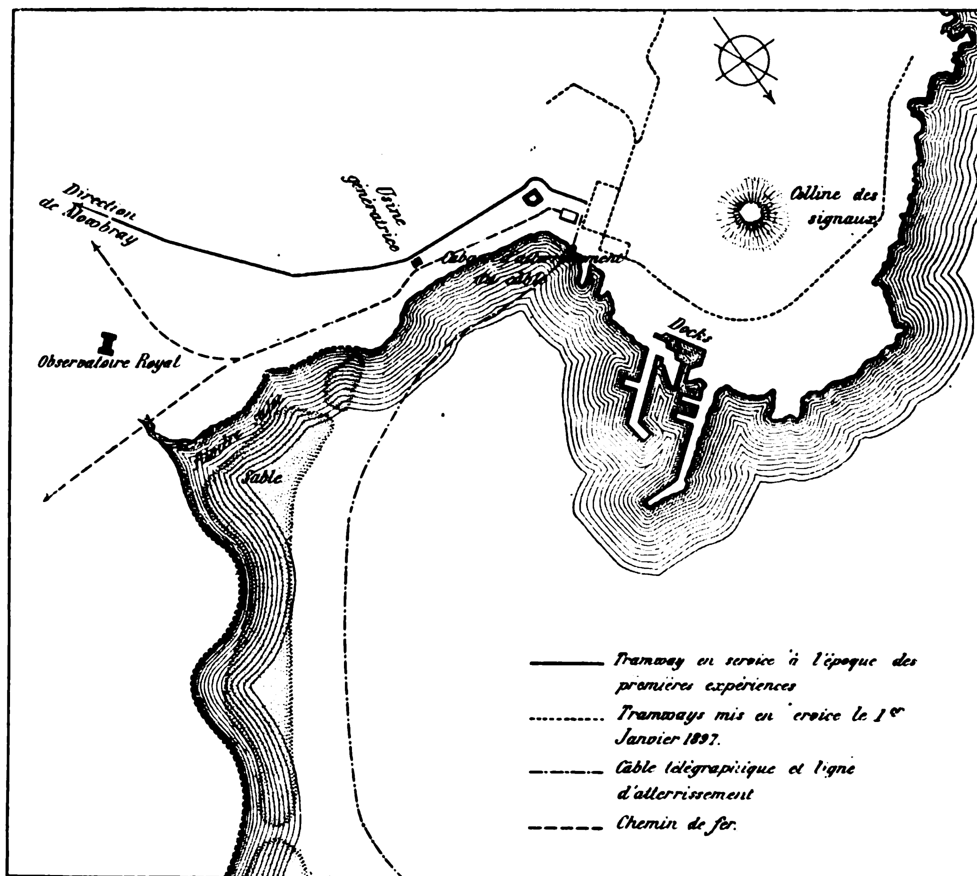


Fig. 1. — Plan de Cape-Town.

Pour bien se rendre compte des causes probables des perturbations, il est nécessaire d'étudier les conditions locales. La figure 1 représente le plan de la ville; on voit que le câble se rend d'abord à une cabine d'atterrissement où il est relié à des conducteurs souterrains qui aboutissent à l'appareil récepteur. Celui-ci se trouve placé dans un bâtiment situé juste en face du terminus de la ligne de tramway.

Sur une longueur d'environ 1600m le câble est parallèle à la ligne de tramways dont il est distant d'environ 800 m. Le câble est relié à Mossamedes, à 2562,3 km; sa résistance est alors de 8820 ohms; il peut être aussi relié à Loanda, distant de 981,56 km; la transmission se fait avec une batterie de piles de 35 éléments. Le siphon-recorder est mis à la terre, suivant l'usage ordinaire, par l'intermédiaire d'un condensateur, pour éviter l'action per-

turbatrice des courants telluriques; la résistance de la bobine du siphon est de 500 ohms; pendant la transmission elle est shuntée par une résistance de 1 ohm et pendant la réception, par une résistance de 6000 ohms; le condensateur a une capacité de 60 microfarads.

Les perturbations se traduisent par des vibrations du siphon enregistreur produisant des signaux qui se superposent aux signaux

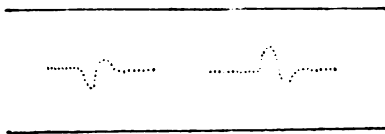
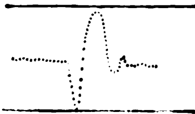


Fig. 2. — Signaux parasites dus aux démarrages et aux arrêts.

ordinaires et en altèrent la signification. Ces signaux parasites sont de trois types distincts : 1° au démarrage des voitures, il se produit une ondulation (fig. 2) dirigée d'abord vers le bas, puis vers le haut; à l'arrêt l'ondulation est de même forme, mais symétrique par rapport à la ligne tracée par le siphon lorsque aucun courant ne passe; la hauteur de la première courbe est d'environ 3 mm; la seconde courbe est moins haute et semble devoir être attribuée simplement à l'inertie; quelquefois, il se produit plusieurs oscillations de plus en plus faibles; l'amplitude de la courbe de démarrage correspond à une intensité de 20 ampères environ; l'amplitude de la courbe d'arrêt dépend de l'intensité du courant qui est interrompu brusquement; 2° une ondulation du même genre, mais beaucoup plus accentuée (fig. 3), et qui, d'après sa forme, semble due à un démarrage trop brusque, entraînant une variation considérable d'intensité; 3° enfin une succession de petites ondulations peu accentuées et irrégulières, qui semblent être attribuables (fig. 4) au mauvais contact accidentel du trôlet avec le conducteur ou des roues avec les rails.



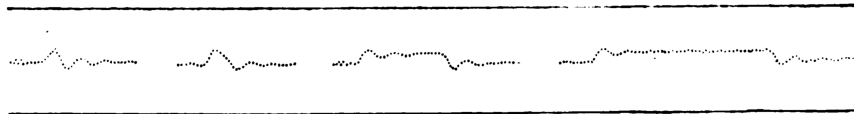


Fig. 3 et 4. — Autres exemples de signaux parasites.

La figure 5 représente une bande sur laquelle les signaux parasites se superposent aux signaux télégraphiques; les lettres transmises sont les mêmes que sur la figure 6, qui donne une transmission correcte. On voit que, dans le premier cas, la lecture était impossible.

Ces perturbations pouvaient être attribuées

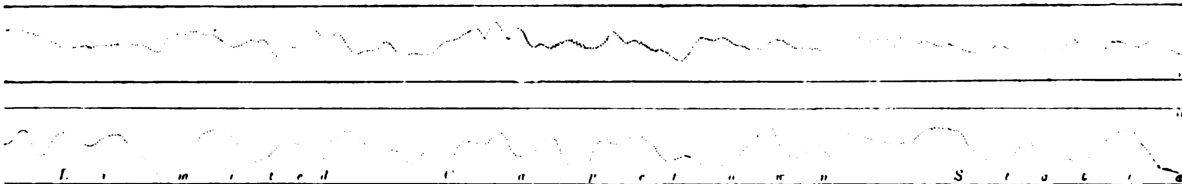


Fig. 5 et 6. — Exemples des signaux enregistrés par le siphon-recorder avant et après l'adoption du câble auxiliaire.

soit aux dérivations à la terre (courants vagabonds), soit à l'induction entre la ligne de tramways et le câble sur le parcours où ils sont parallèles. Bien que la cause exacte n'ait pas été élucidée, il semble résulter des expériences faites que l'induction joue le rôle principal.

Si l'on adoptait la première hypothèse (dérivations par la terre), il suffirait d'éloigner la plaque de terre de l'appareil télégraphique à une distance suffisamment grande pour qu'elle ne se trouvât plus sur le parcours de ces courants vagabonds. On l'essaya au moyen de lignes télégraphiques ou téléphoniques

aériennes qui reportaient la mise à la terre à plus de 20 km, mais sans succès.

Dans l'hypothèse de l'induction, il devait suffire de contre-balancer l'action perturbatrice par une action égale et de signe contraire; on rencontra dans la réalisation de ce plan de grandes difficultés.

Nous ne pouvons donner le détail de toutes les expériences qui ont été faites ni des dispositions de circuits qui ont été essayées; nous nous bornerons à en donner le plan général et à signaler les faits intéressants relevés pendant les expériences. Il se trouvait précisément une ligne téléphonique privée, allant de Cape-Town à Mowbray, le long de la voie de tramway; les courants induits rendaient son usage impossible pour la correspondance téléphonique; on mit l'extrémité de Mowbray à la terre, et on relia l'autre extrémité à un siphon-recorder; on s'assura ainsi que tous les signaux parasites enregistrés par le siphon relié au câble étaient reproduits exactement sur le siphon relié à la ligne téléphonique, avec une intensité environ cinq fois plus grande. On essaya donc de combiner les deux effets de telle façon que leurs actions s'annulassent sur l'appareil récepteur; on n'y put parvenir.

Au cours des essais faits spécialement, pendant la nuit, on constata: 1° que l'amplitude des signaux parasites était en proportion de la distance qui séparait la voiture en marche de l'usine génératrice, quoique plus grande du côté de Cape-Town; 2° que la direction de ces signaux parasites était renversée lorsque la voiture dépassait l'usine génératrice.

Dans une autre série d'expériences, on supprima les condensateurs sur la ligne télégraphique; on constata que la ligne du zéro, tracée par l'appareil lorsque aucun signal télégraphique n'était transmis, sans être complètement droite, l'était suffisamment pour indiquer que les perturbations étaient dues plus que probablement à l'induction et non aux courants vagabonds.

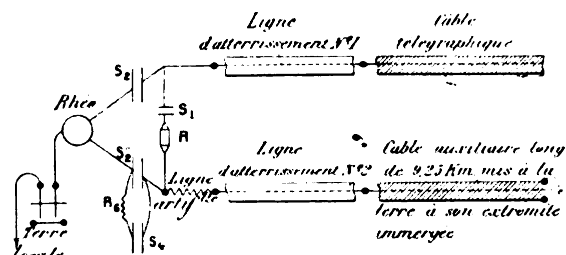


Fig. 7. — Schéma des communications entre le câble télégraphique et le câble auxiliaire.

Enfin, après de longs tâtonnements, voici la solution à laquelle on s'est arrêté et qui a donné pleine satisfaction (la courbe de la figure 6 a été obtenue après que cette solution a été adoptée).

On a immergé dans la baie, aussi exactement que possible au-dessus du câble télégraphique, un bout de câble identique au premier et long de 5 nœuds (9,25 km environ). L'extrémité éloignée de l'âme a été mise à la terre par l'intermédiaire de l'armature extérieure; la jonction en ce point a été soigneusement isolée et protégée pour éviter sa destruction par corrosion ou actions mécaniques. L'extrémité voisine a été reliée à l'appareil télégraphique par l'intermédiaire d'une des lignes d'atterrissement que nous signalions plus haut et par l'intermédiaire d'une ligne artificielle; le câble télégraphique est aussi relié à cet appareil R, comme le représente la figure 7, c'est-à-dire comme pour la transmission en duplex. Dans ces conditions, les courants induits dans le câble télégraphique et dans le câble auxiliaire sont égaux ou à peu près, et comme ils parcourent l'appareil en sens inverse, leurs actions s'annulent; en réglant la résistance et la capacité de la

Fig. 8. — Exemple de ligne de zéro tracée par le siphon-recorder après adoption du câble auxiliaire.

ligne artificielle, on arrive à un équilibre à peu près parfait. En effet, la ligne de zéro tracée par le siphon, lorsque seuls les tramways sont en marche, est sensiblement droite, comme l'indique la figure 8. Les légères perturbations qui existent encore sont trop faibles pour gêner la lecture.

Les essais ont été commencés dans les premiers jours d'août 1896 et ce n'est que le 20 janvier 1897 que les essais furent terminés et les choses remises en état; il est vrai que l'exécution fut retardée par la nécessité où l'on se trouvait de disposer d'un navire télégraphique pour la pose du câble auxiliaire.

G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Potentiomètre d'étalonnement Thiermann (¹).

Cet appareil, imaginé par M. Thiermann, professeur au Polytechnicum de Hanovre, a pour but de permettre de mesurer directement des différences de potentiel comprises entre 200 volts et 0,0002 volt, avec une approximation de 0,5 p. 100 au moins.

Il se compose d'une série de contacts disposés circulairement et sur lesquels glisse un bras métallique B, de deux commutateurs C et D, d'un galvanomètre sensible G, d'une pile étalon E, d'une résistance F et de diverses autres résistances, reliés aux contacts de la couronne.

L'appareil est d'abord réglé de manière qu'un courant d'une intensité déterminée ($0,5 \times 10^{-8}$ ampère dans le modèle correspondant à la figure) donne une déviation galvanométrique de 1 division (1 mm) de l'échelle placée devant le galvanomètre. Dans ce but, le bras B est amené sur les plots A (²). Le circuit de la pile étalon E comprend alors la résistance F et le circuit du galvanomètre G shunté par une résistance. On donne à la résistance F une valeur en ohms égale à $10\,000e - 200 - r$, e étant la force électromotrice en volts de l'étalon et r sa résistance intérieure. Le galvanomètre, qui est du type d'Arsonval, a une résistance de 15 ohms; il est mis en série avec une résistance de 585 ohms en alliage à coefficient de température très faible, de manière que les variations de température aient une influence négligeable sur la résistance totale de 600 ohms;

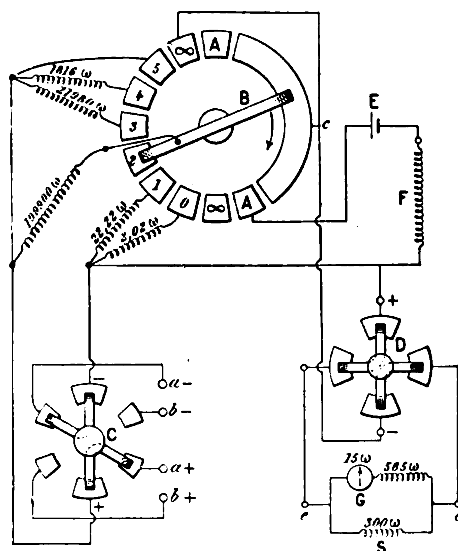


Fig. 1.

il est mis en dérivation sur une résistance de 300 ohms qui rend son amortissement indépendant de la résistance du circuit. Le circuit galvanométrique, avec son shunt, équivaut donc à une résistance

$$\frac{1}{\frac{1}{600} + \frac{1}{300}} = 200 \text{ ohms},$$

(¹) *The Electrical Review*, (Londres), t. XLI, p. 234, 20 août 1897.

(²) Sur la figure A et ∞ ont été, par erreur, intervertis pour les plots supérieurs.

de sorte que la résistance du circuit totale est de

$$100000\,e - 200 - r + 200 + r = 100000\,e,$$

et que par suite l'intensité du courant principal est 10^{-5} ampère. On s'arrange alors pour que la déviation galvanométrique produite par ce courant soit de 200 mm; l'intensité correspondante à une division est donc bien de $0,5 \times 10^{-8}$ ampère.

Ce réglage opéré, on relie les bornes a_+ et a_- du commutateur C aux points entre lesquels on veut mesurer une différence de potentiel x, et on fait tourner le bras B dans le sens de la flèche, de manière à l'amener sur un des plots 0, 1, 2, 3, 4, 5 qui correspondent à divers facteurs de réduction (les plots marqués ∞ servent à la rupture du circuit). Lorsque le bras B est amené sur le plot 0, le circuit $a_+ B o a_-$ comprend la résistance de 199 900 ohms et la résistance de 2,02 ohms et sur cette dernière se trouve placé en dérivation le circuit galvanométrique $cDdGSeo$. La résistance totale est donc équivalente à

$$199\,900 + \frac{1}{\frac{1}{2,02} + \frac{1}{600} + \frac{1}{300}} = 199\,002$$

et par suite l'intensité du courant dans le circuit galvanométrique est

$$\frac{x}{199\,902} \times 2,02 : \frac{1}{\frac{1}{600} + \frac{1}{300}}$$

soit $x \times 0,5 \times 10^{-8}$ ampère à moins de 0,5 p. 100. Comme une division de l'échelle correspond à $0,5 \times 10^{-8}$ ampère dans le circuit galvanométrique, le nombre des divisions de la déviation galvanométrique donne donc immédiatement la valeur de x en volts. Le galvanomètre employé donnant des déviations proportionnelles aux intensités pour des déviations comprises entre 20 et 200 mm, on pourra par conséquent mesurer des différences de potentiel comprises entre 20 et 200 volts.

On verrait aussi facilement que si le bras B est amené sur le plot 1, chaque division correspond à un dixième de volt entre a_+ et a_-.

Quand le bras est sur le plot 2, le circuit galvanométrique et la résistance de 199 900 ohms se trouvent en série, de sorte que l'intensité du courant est

$$\frac{x}{199\,900 + 200}$$

soit approximativement $x \times 0,5 \times 10^{-6}$; par suite, une division de l'échelle correspond à un centième de volt.

Pour les deux positions suivantes, l'une ou l'autre des résistances 21 980 et 1816 ohms est mise en dérivation sur la dérivation de 199 900 ohms et on s'assure facilement par le calcul que la résistance équivalente du circuit total est réduite à 20 000 et 2 000 ohms, de sorte que l'intensité dans le circuit galvanométrique est $x \times 0,5 \times 10^{-5}$ ou $x \times 0,5 \times 10^{-4}$, et qu'à une division correspond un millième ou un dix millième de volt.

Enfin, quand le bras métallique est sur le plot 5, la résistance de 199 900 ohms se trouve mise en dérivation sur une résistance nulle, et la résistance totale se trouve réduite à celle du circuit galvanométrique, soit 200 ohms; l'intensité est alors $x \times 0,5 \times 10^{-3}$ et une division correspond à un cent millième de volt.

On voit donc qu'il suffit de diviser le nombre exprimant la déviation en millimètres par une puissance de 10 indiquée par le numéro du plot sur lequel se trouve le bras B, pour avoir la différence de potentiel en volts. L'appareil est par conséquent des plus commodes pour l'étalonnement des voltmètres.

L'appareil peut évidemment servir à mesurer une intensité de courant. Il suffit pour cela de faire passer celui-ci dans une résistance connue et de mesurer la différence de potentiel entre les extrémités de la résistance. En donnant à celle-ci une valeur multiple ou sous multiple décimale de l'ohm, la valeur du courant en ampères est facile à trouver; par exemple, si on prend un centième d'ohm, l'intensité en ampères s'obtiendra en multi-

pliant par 100 le nombre de volts trouvés. L'étalonnement des ampèremètres pourra par conséquent se faire très rapidement.

Enfin, l'instrument peut encore servir à la mesure des résistances. Un procédé consiste à placer la résistance inconnue x en série avec une résistance connue r et à mesurer à l'aide de l'instrument les différences de potentiel e' et e aux extrémités de ces résistances; cette double opération se fait très rapidement au moyen du commutateur C dont on relie les bornes a_+ et a_- aux extrémités de l'une des résistances et les bornes b_+ et b_- aux extrémités de l'autre. On a x par la relation

$$\frac{x}{r} = \frac{e'}{e}.$$

Un second procédé, applicable surtout à la mesure des grandes résistances consiste à relier à la borne a_+ le pôle positif d'une pile dont l'autre pôle est relié à une extrémité de la résistance x, l'autre étant reliée à la borne a_-; de plus, on relie b_+ et b_- aux pôles de la pile. Le commutateur C étant dans la position indiquée sur la figure, on mesure la différence de potentiel entre les points a_+ et a_-, différence exprimée par

$$\frac{e}{x+\rho} \times x,$$

où e est la force électromotrice de la pile et ρ la résistance réduite du potentiomètre, c'est-à-dire 200 000 ohms quand le bras B appuie sur les plots 0,1 et 2, 20 000 quand il est sur 3, 2 000 quand il est sur 4, et enfin 200 quand il est sur 5. En tournant ensuite le commutateur C, on a la valeur e. J. B.

Sur la transformation directe de la chaleur en énergie électrique ;

Par Marcel Deprez [1].

« Le seul procédé que l'on connaisse actuellement pour produire directement une force électromotrice, au moyen de la chaleur, est basé sur la découverte de Seebeck, qui a permis de réaliser la *pile thermo-électrique*.

» Je vais en faire connaître un autre, basé sur les remarquables propriétés magnétiques des alliages de fer et de nickel qui ont été découvertes par M. Guillaume.

» On sait que M. Guillaume a trouvé que ces alliages peuvent être fortement magnétiques à une certaine température et ne plus l'être à une température plus élevée de 50° seulement. En désignant par n la teneur en nickel (exprimée en centièmes) d'un tel alliage et par T la température à laquelle les propriétés magnétiques disparaissent complètement, il est arrivé à représenter d'une façon suffisamment exacte les résultats de l'expérience par la formule suivante :

$$T = 34,1\,(n - 26,7) - 0,80\,(n - 26,7)^2.$$

» Pour l'alliage à 26,7 p. 100, la perte complète du magnétisme a lieu à zéro; pour l'alliage à 39,4 p. 100, elle se produit à 315°. *Pour tous ces alliages le passage de l'état fortement magnétique à l'état non magnétique se fait sur un intervalle d'environ* 50° [1].

» En faisant dans cette formule $n = 30$ on trouve T = 104°. L'alliage à 30 p. 100 de nickel perdrait donc presque complètement la faculté magnétique à la température de 100° et serait au contraire fortement magnétique à 50°. C'est lui que nous choisirons comme exemple dans ce qui va suivre.

» Supposons que l'on construise un appareil formé d'un aimant en fer à cheval, entre les branches duquel se trouve un faisceau de fils de ferro-nickel dont les brins sont perpendiculaires à l'axe de l'aimant et parallèles à la ligne des pôles, de façon que le circuit magnétique de l'aimant soit fermé par ce faisceau dont les extrémités touchent les faces polaires internes de l'aimant. Autour de ce faisceau, contenu dans une bobine, enroulons un fil conducteur isolé dont les extrémités sont

[1] *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 511, séance du 11 octobre 1897.

[1] Le maximum de T est égal à 363°, il correspond à $n = 48$ p. 100.

réunies par un conducteur extérieur. Tant que la température du faisceau sera inférieure à 50°, il sera fortement magnétique, c'est-à-dire donnera naissance à un flux de force magnétique intense contenu dans l'intérieur de la bobine.

» Si on le chauffe à 100°, l'état magnétique et, par suite, le flux de force disparaissent presque complètement; si l'on désigne par θ le temps nécessaire pour produire cette élévation de température, et par $\mathfrak{F}$ le flux de force du faisceau, la force électromotrice moyenne engendrée dans chaque spire de la bobine aura pour valeur $\frac{\mathfrak{F}}{\theta}$ et donnera naissance à un courant dont l'intensité moyenne sera $\frac{N\mathfrak{F}}{R\theta}$, R étant la résistance totale de la bobine et du circuit extérieur, et N le nombre total des spires.

» Si l'on refroidit alors le faisceau depuis 100° jusqu'à 50°, on produira une force électromotrice égale, mais de signe contraire. L'appareil est donc un générateur de courants alternatifs.

» Dans une prochaine communication, je montrerai comment le même principe permet de transformer directement la chaleur en travail mécanique et je ferai connaître les conditions dans lesquelles ces deux genres d'appareils, moteur et générateur thermo-magnétiques, seraient susceptibles de donner des résultats réellement pratiques et économiques [1]. »

Recherches expérimentales sur les actinomètres électrochimiques;

Par H. Rigollot [2].

Ces recherches sont déjà connues, du moins en partie, de nos lecteurs [1]; nous nous bornerons donc à indiquer leurs principaux résultats.

Toutes les expériences ont été faites avec des appareils de construction analogue. Deux lames métalliques ayant 0,05 cm d'épaisseur, de 8 à 10 cm de longueur et quelques millimètres de largeur, sont rendues sensibles sur l'une de leurs faces, l'autre face étant recouverte de paraffine ou de vernis isolant; ces deux lames sont fixées par un bouchon dans un tube de verre noirci contenant l'électrolyte, formé en général d'une solution aqueuse au centième d'un sel alcalin. On enlève dans le sens des génératrices, sur une longueur de 5 mm, le noir appliqué, afin de laisser tomber la lumière sur la lame en expérience; on a ainsi un actinomètre.

Les sources lumineuses employées ont été le gaz, l'arc électrique et la lumière solaire; ces deux dernières exclusivement employées pour former un spectre.

Les expériences ont porté sur des lames de cuivre recouvertes d'oxyde, de sulfure, de fluorure, de chlorure, de bromure et d'iodure du même métal, sur des lames d'étain oxydé, d'étain sulfuré, et sur des lames d'argent sulfuré; ces lames étaient teintes dans certaines expériences.

a. *Lames non teintes.* — De l'ensemble des résultats découlent les conclusions suivantes :

1° A un certain éclairement correspond pour un actinomètre un accroissement déterminé de force électromotrice à partir de la valeur initiale, laquelle peut être extrêmement faible (actinomètre formé de deux lames identiques) ou être déjà considérable (lame métallique décapée et lame du même métal sensibilisée);

2° Cet accroissement, variable suivant la

---

(1) Nous rappellerons à ce propos qu'il y a quelques années déjà Edison a proposé et même fait construire un moteur dont le fonctionnement est basé sur les variations de l'aimantation avec la température. Dans son *Cours de Thermodynamique*, professé à la Sorbonne en 1888, M. Lippmann a donné la description de ce moteur. (N. d. l. R.)

(2) *Journal de Physique*, 3e série, t. VI, p. 520-525. Résumé d'une thèse doctorat ès sciences physiques, soutenue devant la Faculté des Sciences de Lyon et publiée dans les *Annales de l'Université de Lyon*, en mai 1897.

(1) Voir dans *L'Éclairage Électrique* du 10 novembre 1894, (t. I, p. 423), la conférence faite par M. Maréchal, collaborateur de M. Rigollot, à la séance de novembre de la Société internationale des Électriciens, et dans *L'Éclairage Électrique* des 7, 21 de 28 mars 1896 (t. VI, p. 445, 540 et 518) les articles que M. Maréchal consacrait à l'actinométrie électrochimique.

nature de la couche sensible, varie avec l'état de ce dernier, et l'expérience seule indique les conditions à réaliser dans la préparation des lames pour obtenir la sensibilité maximum; il diminue quand la température augmente.

3° Il varie avec la longueur d'onde de la lumière simple employée, le maximum correspondant à une radiation bien déterminée pour un actinomètre, mais variable avec la nature des lames (radiation infra-rouge, $\lambda = 1{,}04$ pour l'argent sulfuré, radiation ultra-violette pour le cuivre fluoruré); l'expérience a montré que ces phénomènes ne sont pas dus à des causes thermiques.

b. *Lames teintes.* — Elles étaient obtenues en plongeant les lames sensibles dans des solutions très peu concentrées de matières colorantes artificielles analogues ou identiques à celles que l'on emploie pour sensibiliser les plaques photographiques pour certaines radiations; ces matières étaient: violet de méthyle, violet de formyle, bleu soluble, cyanine, vert malachite, vert brillant, jaune de mélanite, safranine, éosine, érythrosine.

L'auteur a obtenu avec ces lames les résultats suivants :

1° La sensibilité des actinomètres est augmentée en général, mais surtout pour certaines longueurs d'onde dépendant de la nature de la matière colorante;

2° L'augmentation de sensibilité ne dépend pas de l'électrolyte, mais dépend de l'état de la couche sensible, et, dans tous les cas, la matière colorante semble amener au même degré de sensibilité un actinomètre, quelle que soit sa sensibilité initiale. Ainsi le vert malachite essayé sur une série d'actinomètres formés par des lames de cuivre très différentes par leur degré d'oxydation, et dont les forces électromotrices variaient de 5 à 200×10^{-5} volt, a amené tous ces actinomètres à avoir, dans les mêmes conditions d'éclairement, une force électromotrice d'environ 300×10^{-5} volt.

3° La longueur d'onde de la radiation spectrale produisant le maximum d'augmentation de sensibilité, ou le maximum de sensibilité absolue, ne dépend que de la nature de la matière colorante, et nullement du composé du cuivre soumis à l'action de la solution colorée; cette longueur d'onde n'est pas celle de la radiation la plus fortement absorbée par la solution; elle est toujours un peu plus grande.

Applications. — Comme la force électromotrice due à un éclairement donné cesse en même temps que cet éclairement, en d'autres termes, que l'effet est instantané, ces actinomètres pourront trouver quelque emploi chaque fois qu'il sera possible d'utiliser ces variations brusques de force électromotrice, par exemple comme récepteur radiographique ou récepteur commandant un relais pour la télégraphie optique [1].

Une autre application sur laquelle s'étend l'auteur est l'application à la photométrie des sources hétérochromes. Par exemple, quand on voudra comparer un groupe restreint de radiations définies dans deux sources différentes, on choisira un actinomètre présentant un maximum de sensibilité correspondant aux radiations étudiées; l'appareil ne verra, pour ainsi dire, que ces radiations parmi toutes celles émises par les sources.

D'autre part, on sait que, sur la proposition de M. Crova, le Congrès des Électriciens de 1889 a adopté la définition suivante : Le degré d'incandescence d'une lampe est le quotient des intensités (relatives à la carcel) des radiations de la longueur d'onde $\lambda = 0{,}582\,\mu$ et des radiations de longueur d'onde $\lambda = 0{,}657$. M. Rigollot propose d'appeler *degré actinique* d'une source le quotient des intensités (relatives à la carcel et mesurées par l'actinomètre) des radiations $\lambda = 0{,}582\,\mu$ et des radiations $\lambda = 0{,}380\,\mu$. L'actinomètre à lames de cuivre fluorurées et teintes à l'érythorsine qui présente deux maxima, l'un vers $0{,}580\,\mu$ et l'autre, beaucoup plus grand, vers $0{,}380\,\mu$, conviendrait pour cette mesure. J. B.

---

(1) Voir à ce sujet l'article déjà cité de M. MARÉCHAL, t. VI, p. 540.

Construction de la lampe à arc d'Arons avec pôles d'amalgames ;

Par Gumlich [1].

La construction de la lampe à arc telle que l'a décrite Arons [2], est très difficile et ne donne guère de bons résultats, la lampe se brisant presque sûrement quand elle se refroidit ; de plus, il n'est pas aisé d'éviter la couche d'oxyde qui recouvre l'amalgame. On peut éviter ces inconvénients en procédant comme il suit.

Le tube RR qui doit fermer la lampe est muni de deux tubes latéraux $A_3DEA'_4$ et A_2CKBT (la portion BT est perpendiculaire au plan de la figure); en A_1, A_2, A_3, A_4, les

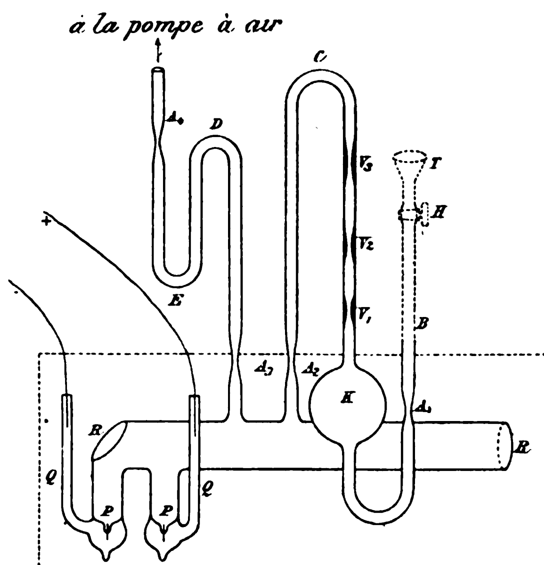


Fig. 1.

tubes sont étirés pour être facilement scellés à la lampe, ils sont étranglés en V_1, V_2, V_3, V_4 ; la boule K est destinée à recevoir l'amalgame. L'ensemble de l'appareil est soigneusement nettoyé à la potasse, à l'acide azotique, à l'eau distillée, puis séché et vidé d'air par la pompe à mercure. Pendant ces opérations, le robinet H doit être graissé seulement aux extrémités, afin que l'amalgame n'entraîne pas de graisse. L'appareil est ensuite introduit dans l'étuve, figurée en traits ponctués, et les portions qui sortent de l'étuve sont également chauffées avec précaution. L'amalgame chaud et filtré est introduit dans l'entonnoir T et par suite dans la boule K ; l'étranglement A_1 sert de filtre et retient l'oxyde, de sorte que l'amalgame est déjà d'un beau brillant quand il arrive dans la boule K. On fond alors le tube en A_1 et on fait encore le vide, tout en chauffant pour éliminer les dernières traces d'air que peut encore renfermer l'amalgame. Le tube est fondu en A_4 et on fait couler l'amalgame par les étranglements V et A_2 dans le tube R, où il doit arriver brillant comme le mercure bien nettoyé. Il ne reste plus qu'à fondre le tube en A_2 et l'appareil est prêt à servir. Le courant arrive par les tubes Q remplis de mercure jusqu'aux électrodes de platine P, P. En chauffant dans le bain d'eau, on penche l'appareil pour amener l'amalgame au contact, et quand on supprime ce contact, l'arc jaillit si la quantité d'amalgame a été bien mesurée.

Quand l'arc fonctionne, l'amalgame est projeté en partie et s'attache à la paroi de verre où il forme un enduit opaque : pour cette raison, il vaut mieux placer les pôles à l'une des extrémités du tube, de manière que la seconde extrémité reste toujours libre. L'amalgame se soulève aussi assez fortement à la cathode, et c'est ce renflement qui émet la lumière du métal amalgamé avec le plus d'intensité. Pour recueillir cette lumière, le tube porte au-dessus de la cathode une lame de verre argentée, à 45° de l'axe du tube, qui renvoie la lumière dans la direction de ce dernier.

L'intensité des raies du cadmium croît avec la concentration de l'amalgame ; un amalgame à 10 p. 100 est encore assez maniable ; l'intensité croît aussi avec la température du bain dans lequel est plongé le tube.

Les tubes avec amalgames de potassium et d'étain sont faciles à obtenir, jusqu'à la teneur de 1 p. 100 pour le premier, de 4 à 5 p. 100 pour le second ; mais ni l'un ni

(1) *Wied. Ann.* LXI, p. 401-407.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 558 et t. IX, p. 561.

l'autre ne donnent les raies du métal, quand on entoure le tube d'un bain liquide. L'amalgame de zinc est plus difficile à obtenir que celui de cadmium; les raies sont presque aussi intenses que celles du cadmium; mais il semble que les tubes se brisent plus facilement, sans doute parce que l'amalgame de zinc attaque aisément le verre. M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Calciumcarbid und Acetylen in Vergangenheit, Gegenwart und Zukumft (Le Carbure de calcium et l'acétylène dans le passé, le présent et l'avenir); par Jovan P. PANAOTOVIÉ. — Un vol. in-8° de 125 pages avec 4 fig. — *J.-A. Barth*, éditeur. Leipzig, 1897. Prix : 3,60 marks, broché.

La littérature spéciale à l'acétylène a pris en peu de temps un développement considérable, plus rapide même que l'industrie dont elle s'occupe, bien que l'éclairage à l'acétylène gagne tous les jours du terrain en même temps que les accidents diminuent, comme ont pu s'en convaincre les lecteurs de ce journal par les notes que nous avons publiées à ce sujet. — Il ne faut donc pas s'attendre à trouver dans les ouvrages nouveaux des faits inconnus.

L'ouvrage du docteur allemand ne fait pas exception à la règle, ce qui ne nuit pas d'ailleurs à son intérêt. Il présente, en effet, sur tous ses devanciers l'avantage d'une partie bibliographique très étendue qui facilitera aux travailleurs l'étude plus complète de cette question à l'ordre du jour. L'auteur ne cite aucun travail sans donner l'indication exacte de la publication originale; en outre, l'ouvrage est terminé par une liste complète des brevets pris dans tous les pays de la terre sur le carbure de calcium et sur l'acétylène.

Après avoir exposé l'historique depuis la découverte du carbure de calcium par Davy, jusqu'aux travaux de M. Moissan, M. Panaotovié étudie les propriétés éclairantes de l'acétylène, ses dangers, la fabrication du carbure de calcium, puis les applications de l'acétylène à la carburation des gaz, à l'éclairage des trains, à la photographie, à la chimie, etc. Aucun travail important n'est omis, même parmi les plus récents.

La partie consacré à la bibliographie et aux brevets aurait gagné à être complétée par une courte analyse des brevets, au moins des plus importants; en outre, nous avons relevé certaines omissions dans la listes des brevets, ce qui est regrettable, car des nomenclatures de ce genre ne présentent tout leur intérêt qu'à la condition d'être absolument exactes.

Tel qu'il est, cependant, cet ouvrage constitue une addition importante à l'étude du nouvel illuminant, et il sera lu avec profit.

G. PELLISSIER.

Carriages without horses shall go (L'avenir des voitures sans chevaux) par A. R. SENNETT. — Un vol. in-8° de 131 pages avec 40 fig. hors texte. — *Whittaker and C°*, éditeurs. Londres, 1896. Prix : 2 schellings.

Cet ouvrage est consacré, non seulement à l'avenir des automobiles, mais encore et surtout à leur historique. Il est formé par la réimpression de mémoires publiés par l'auteur à différentes reprises. Il contient des documents du plus grand intérêt et la critique très sincère des systèmes modernes. Pour bien des personnes, la lecture de ce travail sera une révélation car, si les spécialistes sont au courant des efforts constants faits depuis la fin du siècle dernier pour réaliser la voiture sans chevaux, combien plus nombreux sont ceux qui s'imaginent qu'entre la tentative de Cugnot, en 1769, et la période actuelle, rien n'a été fait dans cette voie! Pourtant, des services publics réguliers d'omnibus à vapeur ont existé en Angleterre vers 1825 et 1830. Ces entreprises ne furent pas couronnées de succès; l'inperfection des moyens employés et l'opposition systématique qu'elles rencontrèrent les firent disparaître devant les chemins de fer. Une loi spéciale empêcha même bientôt leur circulation sur les routes, et l'interdiction ne fut levée que l'année dernière. Tous ces essais sont très complètement détaillés dans ce petit livre et les différentes voitures sont reproduites. Toutefois, les travaux des inventeurs an-

glais sont principalement décrits et l'on ne trouve pas mention des essais tentés de ce côté du détroit, notamment par Dietz, en 1834 ; ils méritent pourtant de ne pas rester dans l'oubli.

Nous recommandons la lecture de cet ouvrage à tous ceux que l'historique de cette question d'actualité intéresse.

G. Pellissier.

Reference book of Tables and formulas for electric Railway engineers (Recueil de formules à l'usage des ingénieurs des tramways); par E.-A. Merrill. — 2e édition; un vol. de 128 pages. — *The W.-J. Johnston C°* éditeurs. New-York, 1897.

Ce petit recueil contient un grand nombre de tables qui seront consultées utilement. Dès le début sont données les tables relatives au calcul et à la construction des moteurs à vapeur et hydrauliques, des chaudières et de leur tuyauterie, des cheminées, des condenseurs et autres appareils accessoires, ainsi qu'au pouvoir calorimétrique des charbons. Viennent ensuite les dimensions et poids des principaux types de voitures et de trucks de tramways électriques, avec les indications relatives aux vitesses, coefficients de traction, etc.

L'établissement de la voie et celui des lignes aériennes est ensuite résumé dans des tables très claires. Ce formulaire spécial est complété par les tables de comptes faits : logarithmes, carrés, surfaces, etc., et par des tableaux de conversion des mesures anglaises en mesures métriques qui faciliteront aux ingénieurs français l'emploi des données qu'il contient. G. P.

CHRONIQUE

Station centrale hydraulique de Colombus (Amérique). — Cette station, qui a fait dernièrement l'objet d'une très longue et intéressante description de M. W.-E. Boileau, dans *The Electrical World*, présente quelques particularités tant pour la construction mécanique que pour l'exploitation.

En 1885, les propriétaires d'un moulin sur la Chattahoochee River, à environ 2 km de la ville de Colombus, firent installer une dynamo pour l'éclairage des ateliers; mais, quelques années après, le moulin fut transformé en station hydraulique et ses propriétaires formèrent une Société la *Brush Electric Light ant Power C°* qui entreprit l'éclairage des rues par des lampes à arc. Depuis lors, l'érection d'une station à vapeur fut jugée nécessaire et, jusqu'en mars 1896, ces deux stations fournissaient du courant aux réseaux de la ville.

Quand la Compagnie des tramways entreprit de substituer la traction électrique à la traction animale sur son réseau, elle offrit à la Compagnie d'électricité de s'allier avec elle pour construire une station unique dans laquelle elle pourrait obtenir d'un matériel générateur indépendant, l'énergie nécessaire à l'exploitation de ses lignes. L'entente fut rapidement conclue et à l'époque de la fermeture des anciennes stations, l'exploitation de la nouvelle commençait et se continue encore avec un plein succès.

Les bâtiments de cette nouvelle station, situés à 1,5 km environ du centre de la ville, sont érigés près de la rivière où s'élevait la station primitive, la Chattahoochee River, à un endroit où l'on peut disposer d'une puissance de près de 3 000 chevaux. Le matériel hydraulique qu'ils renferment actuellement se compose de 6 turbines Samson, construites par la J. Leffel C°, de Springfield. Chacune d'elles a 1,70 m de diamètre et développe 232 chevaux sous une hauteur de chute de 3 m et une vitesse de 72 tours par minute. La transmission de cette énergie aux machines dynamos s'opère par l'intermédiaire de deux arbres horizontaux que les turbines entraînent par des trains d'engreanges,

Le plus petit de ces arbres est formé de deux sections que l'on peut faire fonctionner isolément ou ensemble en les réunissant par un couplage élastique. L'une et l'autre entraînent chacune, par des courroies, une dynamo multipolaire de 200 kilowatts en courant continu à 500 volts qui est utilisé par la Compagnie des tramways. Ces deux groupes sont complètement indépendants du reste du matériel générateur de la station ; ils ont leur tableau spécial muni des appareils de régulation et accessoires complémentaires, dont la surveillance n'exige d'ailleurs par la présence continue d'un électricien. La manœuvre des rhéostats d e

chaque dynamo s'opère automatiquement par une ingénieuse combinaison de solénoïdes, désignée sous le nom de système Barber. Chaque dispositif comporte 4 solénoïdes, dont deux petits servant de relais, et deux gros actionnant par leurs noyaux les poignées des rhéostats de réglage. Les relais sont formés d'un enroulement à fil fin en dérivation sur un enroulement à gros fil que traverse constamment le courant principal. Les noyaux traversant les solénoïdes sont retenus à leurs parties supérieures par des ressorts à boudin et se terminent à l'autre extrémité par des contacts destinés à fermer le circuit des enroulements des deux solénoïdes régulateurs, quand les variations du débit atteignent des valeurs de 50 ampères. Ces derniers solénoïdes augmentent ou diminuent la résistance suivant que le débit a varié en plus ou en moins. Les arcs produits par le passage d'un plôt à l'autre sont soufflés par des électros à excitation constante. En marche normale, le fonctionnement des solénoïdes est presque ininterrompu. Il en résulte nécessairement une faible dépense d'énergie, le seul inconvénient inhérent à ce dispositif, mais que compense d'ailleurs largement l'emploi d'un surveillant dans les autres systèmes fonctionnant à la main.

Du tableau de ces deux générateurs partent les feeders qui vont alimenter les différentes lignes à trôlet du réseau de tramways de la ville. Ce dernier a une longueur totale d'environ 32 km et est desservi par 19 voitures motrices munies chacune de deux moteurs G. E. 800.

Le second arbre de transmission de l'usine, qu'actionnent les turbines par des dispositifs analogues à ceux du premier, est sectionné en quatre parties. Trois d'entre elles, généralement accouplées et n'en formant qu'une, entraînent par des courroies trois alternateurs pour lumière à arc et deux autres alternateurs à courants biphasés pour la force motrice. Les premiers alimentent 225 arcs des circuits de l'éclairage public ; les seconds fournissent du courant à 2 000 volts au réseau de transport de force à domicile. La quatrième section de l'arbre est affectée à la commande de trois alternateurs qui alimentent le circuit à haute tension du réseau d'éclairage par incandescence, par des courants monophasés à 1 100 volts. En raison de la constance du débit exigée par ce service, les turbines qui commandent l'arbre de transmission sont pourvues de régulateurs Replogle du modèle employé à Niagara et qui a déjà été décrit en détail dans cette Revue (Voir *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 452). L'installation de ces derniers alternateurs n'est, d'ailleurs, que temporaire ; on doit prochainement les remplacer par d'autres plus puissants.

En ce qui concerne la distribution de l'énergie, chaque groupe de générateurs affecté à un service spécial a son tableau respectif muni de tous les appareils appropriés à la nature et à l'utilisation du courant. Les feeders du réseau de transport de force, de même que ceux du réseau d'éclairage par incandescence, se rattachent chacun à un réseau primaire dans lequel sont intercalés des transformateurs qui ramènent le potentiel à sa valeur normale d'utilisation. Toutes les canalisations, même les feeders du réseau de tramways, sont aériennes et supportées par des poteaux en bois ignifugé.

La vente de l'énergie pour l'éclairage, comme pour la force motrice, est faite suivant deux tarifs : au comptant et à forfait. Environ 80 p. 100 des lampes à incandescence sont alimentées par du courant vendu au compteur, car elles éclairent pour la plupart les magasins et ateliers. Les autres 20 p. 100 sont réparties entre les nombreuses résidences des faubourgs. Pour celles-là on établit un tarif à forfait qui varie suivant le nombre de lampes en service à la fois. Par exemple, un abonné paie 25 fr par mois pour 10 lampes de 16 bougies; libre à lui de les allumer toutes à la fois ou seulement en partie, le tarif restera le même. Il ne pourra toutefois essayer d'en allumer une onzième sous peine de fondre les plombs du coffret spécial dont l'inspecteur de la Compagnie a seul la clef, et de se voir, par suite, privé de lumière jusqu'au lendemain. Ces plombs sont soumis à des calibrages périodiques et fréquemment changés. Le renouvellement des lampes est à la charge de l'abonné.

Résistance des véhicules à la traction sur routes. — Les progrès de l'automobilisme donnent une certaine importance aux expériences faites pour déterminer le coefficient de traction sur route; deux séries d'expériences faites récemment, les unes en France, les autres en Amérique, ont fourni sur ce sujet des données intéressantes.

Les expériences américaines ont été, nous dit *Le Génie Civil* du 7 octobre, faites dans le but d'étudier les perfectionnements à apporter à la

construction des routes et à la généralisation de l'emploi de l'asphalte. Dès 1895, de premiers essais avaient été faits à Atlanta, sur des routes macadamisées, ou des routes sablées, ou sur des chemins boueux. L'effort exercé était à chaque instant indiqué au moyen d'un tractomètre à cadran, appareil composé d'un secteur gradué sur lequel se mouvait une aiguille reliée à un ressort en spirale qui lui transmettait les efforts subis. On a constaté ainsi que, même sur le macadam le plus uni, l'effort de traction n'était pas constant, mais variait dans la limite de 25 kgr environ par tonne remorquée; sur une route boueuse les efforts passaient de 0 à 350 kgr, constituant ainsi une série de chocs. On reconnut également dans ces essais, qu'il y avait avantage à employer pour les roues de larges jantes, de préférence aux jantes étroites.

Les résultats obtenus avec le tractomètre n'ayant pas donné des résultats suffisamment précis pour être soumis à des calculs, on a fait usage, depuis, d'un tractographe enregistrant automatiquement les efforts. Voici les moyennes des efforts de traction obtenues avec cet appareil, la charge à traîner étant d'une tonne :

Route asphaltée, de niveau, en mauvais état	13 kg
Route macadamisée, de niveau, en bon état	19 »
Route boueuse, de niveau .	48 »
Route macadamisée, en rampe de 10 p. 100. . . .	118 »

Les essais faits en France, par M. Fonvieille, sous la direction de M. Michelin, avec la voiture dynamométrique de la Compagnie générale des voitures de Paris, ont permis de comparer les bandages en fer, les caoutchoucs pleins et les pneumatiques, et de déterminer les coefficients de traction respectifs des différents bandages en fonction de la vitesse de la voiture et de la nature du terrain. Voici, d'après la récente communication sur les automobiles électriques, faite par M. Hospitalier, à la Société des électriciens, et dont nous avons donné une analyse dans notre numéro du 15 mai dernier (t. XI, p. 367), les résultats de ces essais, les chiffres indiquant les efforts de traction en kilogrammes par tonne.

1° Boulevard de la Seine, Puteaux. Bon macadam, dur, sec et poussiéreux. Palier :

	Fer.	Caoutch. pleins.	Pneum.
Vent debout, vitesse 11,7 km-h	27,2	24,5	22,3
» arrière, » 11,7 »	25,3	22,8	20,8
» debout, » 19,7 »	34,4	29,9	24,8
» arrière, » 19,7 »	27,6	25,2	23,8

2° Même boulevard. Bon macadam, dur, légèrement boueux :

Vitesse, 11 km-h. . . .	27,4	26,5	24
» 20 »	39,9	35,6	31,8

3° Même boulevard. Bon macadam, fortement détrempé.

Vitesse 21 km-h. .	45,6	42,6	35,0

4° Boulevard de Versailles, Suresnes, rampe de 0,04. Bon macadam, dur, sec, poussiéreux.

Vitesse 11 km-h. . . .	62,1	61,4	57,2
» 19 »	73 0	64,1	59,6

5° Route de Saint-Germain, Courbevoie, rampe de 0,05. Pavé ordinaire, un peu gros, sec.

Vitesse 11 km-h. . .	42,2	40,1	36,1

6° Même route, boue collante.

Vitesse 18 km-h. . . .	54,9	57,4	44,0

7° Même route, boue demi-sèche.

Vitesse 12,5 km-h . . .	44,5	41,6	36,0
» 20 » . . .	52,2	56,0	40,7

8° Quai Président-Carnot, Suresnes, palier. Macadam vieux, sec, un peu défoncé.

Vitesse 22 km-h. . . .	33,8	28,0	22,5

Comme le faisait remarquer M. Hospitalier, la comparaison des chiffres des trois colonnes établit que le bénéfice du pneumatique sur le fer plein n'est jamais inférieur à 10 p. 100 et peut atteindre jusqu'à 30 et 35 p. 100 sur mauvais terrain.

Télégraphie sans fils; expériences de la Spezzia. — Il y a quelques mois, nous signalions dans nos Nouvelles les essais que M. Marconi se proposait de faire dans le golfe de la Spezzia. La *Rivista marittima* en donnait récemment le compte rendu, résumé par notre confrère *L'Industrie Électrique*, auquel nous empruntons les renseignements suivants :

Dans ces essais, le transmetteur, installé à San-Bartolomeo, était constitué par un oscillateur Righi, actionné par une bobine donnant 25 cm d'étincelles. L'une des sphères était mise en relation avec la mer, tandis que l'autre était reliée par un conducteur de 4 mm de diamètre à une plaque

de zinc de 40 cm de côté, placée au sommet d'un mât d'une trentaine de mètres de hauteur.

D'autre part, le récepteur était placé sur un navire (un cuirassé de la marine royale pendant les deux derniers jours) qui se déplaçait dans le golfe, ce qui permettait de faire varier aisément les conditions des expériences, tant au point de vue de la distance qu'à celui de l'interposition d'obstacles (îles, cheminées du bateau, etc.) sur le passage des ondes électriques. De même que dans le cas du transmetteur, l'un des pôles du récepteur communiquait avec la mer, l'autre avec une plaque métallique fixée au sommet du mât du navire.

Il résulte de ces essais que les conditions atmosphériques influent sur la distance de transmission ainsi que sur la netteté des signaux. Certains jours on put transmettre jusqu'à 16 km, tandis qu'un autre jour la limite de transmission compréhensible se trouva réduite à 7 ou 8 km. Dans une autre circonstance, les influences atmosphériques provoquèrent des émissions de courant dans le récepteur, alors que le transmetteur restait au repos.

On a également observé que, contrairement aux prévisions de la première heure, la transmission est arrêtée par certains obstacles. Ainsi, dès que le navire portant l'appareil récepteur passait derrière la pointe della Castagna, distante de 6 km de l'appareil transmetteur, les signaux ne pouvaient être perçus ; ils l'étaient de nouveau dès que le transmetteur rentrait dans le champ visuel du transmetteur.

Dans d'autres cas, l'intensité des signaux était seulement affaiblie par l'interposition d'un obstacle. C'est ce qui arrivait quand le navire était placé de telle sorte que la cheminée ou la passerelle du commandant étaient interposées entre le transmetteur et le récepteur ; c'est également ce qui avait lieu quand le récepteur était placé dans la cale du navire, à 2,5 m au-dessous de la surface de l'eau et au voisinage de masses de fer considérables.

On voit qu'en somme les résultats de ces essais sont assez encourageants, mais que, comme toute application nouvelle, le système de télégraphe Marconi a besoin d'être perfectionné pour entrer dans la pratique courante.

Fabrication par l'électrolyse des réflecteurs paraboliques. — La fabrication des miroirs paraboliques employés comme réflecteurs, pour les phares par exemple, est extrêmement délicate lorsqu'il s'agit de pièces ayant de grandes dimensions; ce n'est qu'à force de retouches que l'on peut obtenir la forme géométrique parfaite et le poli indispensable : habituellement le miroir est argenté par un procédé chimique.

L'électricité va permettre, si nous en croyons le *Zeitschrif für Elektrochemie*, d'obtenir le plus aisément du monde des réflecteurs parfaits.

On commence par fabriquer un moule en cire, en verre ou en métal; en tous cas, la surface externe doit être recouverte d'une couche de cire, aussi lisse que possible; on dépose sur cette cire, une mince couche d'argent par un procédé chimique et on polit encore cette couche au tampon, mais en ayant soin qu'il n'y ait aucun intervalle entre la cire et l'argent vers les bords.

Le moule ainsi préparé est plongé dans un bain électrolytique, pour obtenir un dépôt de palladium sur l'argent; après lavage, il passe dans un autre bain, où il est animé d'un mouvement de rotation continu, et où l'on produit une forte couche de cuivre sur le palladium. On sèche et on chauffe vers 90°, ce qui fond la cire et permet de détacher le miroir métallique composé de trois couches, argent, palladium et cuivre, ce dernier pouvant être remplacé par tout autre métal plus économique.

On peut alors chauffer jusqu'à obtenir un alliage de palladium et d'argent, ou bien dissoudre l'argent seul avec une solution de cyanure de potassium qui n'attaque pas le palladium : celui-ci étant peu altérable, donne une surface réfléchissante excellente.

Extraction électrolytique du chlore du chlorure de calcium. — Dans le procédé Solvay pour la fabrication du carbonate de sodium, les matières premières entrant dans l'usine sont le chlorure de sodium et du carbonate de calcium; le chlore du premier et le calcium du second sel forment le résidu des opérations : le chlorure de calcium.

M. le Dr Kellner vient de faire breveter un électrolyseur destiné à retirer le chlore de ce chlorure. Les anodes sont en charbon de cornue et disposées entre des diaphragmes inattaquables par le chlore; les anodes sont des disques en fer, tournant autour d'un axe horizontal et contre lesquels s'appuient des frottoirs en forme de V, des-

tinés à enlever la chaux hydratée qui se forme sur les cathodes; un transporteur à hélice entraîne la chaux hors de l'électrolyseur.

Décoloration des jus sucrés par l'électrohydrosulfitation. — Si l'épuration et la décoloration des jus sucrés par voie électrochimique ne sont pas encore entrées dans la pratique courante, ce n'est faute de nombreuses tentatives, dont, à plusieurs reprises, nous avons entretenu nos lecteurs. (Voir en particulier *L'Éclairage Électrique* du 8 août 1896, t. VI, p. 254, où se trouve résumée l'intéressante communication faite, par M. Battut, au Congrès international de chimie appliquée.)

A la dernière assemblée générale de l'Association des chimistes de sucrerie, M. Ed. Urbain revenait sur cette question et rendait compte des essais qu'il a faits avec un nouveau procédé de son invention, qu'il appelle électrohydrosulfitation. Dans ce procédé, le jus sucré est soumis en même temps à l'action de l'acide sulfureux et de l'électrolyse ; celle-ci se produit à la fois sur le jus sucré et sur l'acide sulfureux en dissolution ; cet acide donne à la cathode, par suite de l'action réductrice de l'hydrogène, de l'acide hydrosulfureux ($SO^3H^2 + H^2 = SO^2H^2 + H^2O$), qui possède des propriétés décolorantes très énergiques; les impuretés du jus sucré donnent, avec le métal de l'anode soluble, des sels métalliques peu solubles ou insolubles.

Dans ses essais l'auteur employait un électrolyseur en verre à anodes de plomb alternant avec des cathodes de zinc. Les électrodes étaient distantes de 8 mm seulement, de manière à réduire au minimum la résistance du bain et la perte d'énergie par effet Joule qui en est la conséquence. Deux tubes plongeant dans l'électrolyte amènent, l'un, un courant de vapeur d'eau destinée au chauffage, l'autre un courant de gaz sulfureux. L'électrolyse durait une heure, au bout de laquelle les analyses étaient faites. Les essais ont porté sur des jus de râpe, des jus de deuxième carbonatation, des sirops et des mélasses diluées. Dans aucun cas l'auteur n'a constaté de perte de sucre par inversion ; quant à la décoloration, elle est, pour une même quantité de soufre, beaucoup plus marquée (d'un quart environ) qu'avec l'anhydride sulfureux seul. Ainsi, en partant d'un sirop d'un degré de coloration égal à 4, la coloration tombait à 2,1 par sulfitation simple et à 0,9 par électrohydrosulfitation.

Pour le traitement des sirops, le plomb convient le mieux comme anode soluble, d'abord parce qu'il donne avec les acides résultant de l'électrolyse des sels insolubles, et, en outre, parce que les moindres traces de ce métal sont éliminées par l'anhydride sulfureux. Toutefois, pour le traitement des jus bruts, M. Urbain préfère, par raison d'économie, l'emploi d'anodes en zinc ; on obtient ainsi des jus décolorés, d'une décoloration persistante, exempts de sels de chaux après la deuxième carbonatation, tout en réduisant de moitié la quantité de chaux nécessaire à cette dernière opération.

Dans la première colonne de chiffres du tableau ci-joint se trouvent indiqués les résultats obtenus par M. Urbain, en traitant des sirops par hydrosulfitation suivie de double carbonatation ; la deuxième colonne donne, à titre de comparaison, les résultats obtenus sur les mêmes sirops soumis seulement à la double carbonatation. Les troisième et quatrième colonnes donnent les résultats obtenus en traitant les jus bruts respectivement par électrohydrosulfitation suivie de double carbonatation, et par cette dernière opération seule.

	SIROP		JUS BRUT	
	Proc. Urbain.	Doub. carbon.	Proc. Urbain.	Doub. carbon.
Sucre	45,85	45,58	10,92	10,87
Cendres	1,47	1.485	»	»
Quotient salin	31,2	30,8	23,8	22,2
Pureté	90,4	88,3	88,1	86,4
Alcalinité	»	»	0,17	0,19
Sels de chaux	—	traces.	—	0,025
Coloration	1	5	0.3	2

On voit que l'emploi préalable de l'électrohydrosulfitation donne un plus grand degré de pureté et un moindre degré de coloration ; en outre, dans le cas des sirops l'évaporation et la cuite sont rendues plus faciles.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XIII. **Samedi 30 Octobre 1897** **4e Année. — N° 44.**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

LA TURBINE HERCULE-PROGRÈS

L'utilisation des chutes d'eau pour la production et la consommation sur place ou à distance de l'énergie électrique a pris en ces dernières années une extension que l'on peut sans exagération qualifier d'extraordinaire. En raison de ce rapide développement, la réalisation d'appareils hydrauliques à bon rendement s'est imposée comme une nécessité primordiale, comme un problème d'importance exactement équivalente à celle de la construction de bonnes dynamos; c'est dire que les efforts des ingénieurs en ce sens n'ont pas fait défaut. Chose remarquable, ces efforts ont abouti à doter l'industrie d'instruments précisément aussi parfaits que la dynamo, pouvant soustraire à l'eau d'alimentation jusqu'à 91 et 92 p. 100 de l'énergie renfermée dans celle-ci. A l'aide des turbines actuelles on peut donc retirer d'une chute donnée presque deux fois autant d'énergie qu'on pouvait le faire autrefois avec ces roues hydrauliques monumentales, dont le rendement dépassait rarement 50 p. 100 et dont le rôle devrait se borner désormais à figurer en bonne place dans les musées d'antiquités.

Pour arriver à ces rendements remarquables des turbines actuelles, il a évidemment fallu pousser à la dernière limite les détails les plus insignifiants en apparence. Deux conditions essentielles ont dû être remplies avec la dernière précision : on a dû arriver à faire en sorte que l'eau traverse sans *chocs* les différentes parties de l'appareil d'utilisation, tout choc se traduisant nécessairement par une absorption d'énergie; que de plus l'eau d'alimentation sorte de la turbine avec une vitesse non pas nulle, chose évidemment irréalisable, mais aussi réduite que possible, de manière à n'emporter avec elle qu'une partie négligeable de l'énergie fournie. En conséquence, la forme des différentes parties d'une turbine doit être minutieusement étudiée en vue d'éviter tout changement brusque dans la direction des filets d'eau, toute contraction ou dilatation des veines liquides : en conséquence également, le profil et la vitesse des aubes doivent être calculés de telle sorte que lorsque le liquide les abandonne après avoir agi, sa réaction sur les aubes les lui fasse quitter avec une vitesse relative égale et de sens contraire à la leur propre, c'est-à-dire avec une vitesse absolue sensiblement nulle.

Différents procédés permettent, comme on sait, d'arriver aux deux résultats primordiaux que nous venons d'indiquer et ont donné naissance à plusieurs classes de turbines.

Il nous suffira pour faire ressortir la di-

versité des types possibles, de rappeler que l'eau peut agir ou bien par sa vitesse, comme dans les turbines d'*action*, ou bien par sa pression, comme c'est le cas dans les turbines de *réaction*. Quant à la circulation de l'eau dans la turbine, elle peut se faire (cas des turbines *parallèles* ou *axiales*) parallèlement à l'axe de la turbine, suivant des cylindres concentriques à l'arbre; elle peut au contraire s'effectuer radialement, le mouvement de l'eau se faisant alors dans un plan perpendiculaire à l'axe, soit du centre vers la périphérie (turbines *centrifuges*), soit de la périphérie vers le centre (turbines *centripètes*).

Il est évident d'ailleurs que chacun de ces trois derniers types (turbines parallèles, centrifuges et centripètes) peut se construire soit en turbine d'action, soit en turbine de réaction, ce qui donne déjà lieu à d'assez nombreuses combinaisons. Mais en outre, un grand nombre de turbines sont mixtes, soit en ce qui concerne le mode d'action de l'eau, soit en ce qui concerne son mode de circulation, et on conçoit dès lors que le nombre des modèles puisse être aussi nombreux que celui des constructeurs.

Les constructeurs français donnent en général la préférence aux turbines parallèles et centrifuges. Les constructeurs américains, au contraire, ont accordé leurs préférences d'une manière à peu près exclusive aux turbines centripètes : on pense bien que ce n'est pas sans motifs et qu'ils ont dû être guidés dans leur choix par cet esprit pratique si développé que nous admirons sincèrement chez eux mais que nous ne savons pas suffisamment imiter, et il n'est pas difficile en effet de se rendre compte des raisons qui les ont dirigés.

On sait que la méthode de travail qui est appliquée d'une manière générale dans les ateliers de construction des États-Unis consiste à reproduire indéfiniment des appareils toujours identiques à un petit nombre de types immuables parfaitement étudiés. On supprime ainsi les études nouvelles à chaque appareil, on rend les pièces interchangeables avec la plus grande facilité en cas d'accident; enfin, le principe de la division du travail peut être mis en pratique dans toute sa rigueur à l'aide de machines-outils d'une perfection admirable ayant à produire toujours les mêmes pièces, ce qui permet de réaliser la fabrication dans des conditions de rapidité et d'économie malheureusement presque inconnues chez nous.

En outre, cette quasi-automaticité que les Américains ont su réaliser dans la fabrication, ils la veulent également, aussi accentuée que possible, dans le fonctionnement même de l'appareil produit. De sorte que la turbine américaine, par exemple, sera, s'il est possible, auto-régulatrice.

Ceci posé, un rapide examen des conditions de fonctionnement des divers genres de turbines permettra de se rendre compte que, fatalement, c'était sur la turbine centripète que devait se porter le choix des constructeurs d'outre-Atlantique.

Dans la turbine centrifuge, en effet, où l'eau, admise au centre, est chassée vers la périphérie, si pour une cause quelconque la vitesse vient à augmenter, l'eau quitte les aubes avec une vitesse plus grande par suite de l'accroissement de la force centrifuge, de sorte que le débit tend à augmenter et que la vitesse de rotation subit — ou tend à subir — une nouvelle augmentation. La turbine centrifuge est donc tout le contraire d'auto-régulatrice; elle est, si l'on peut s'exprimer ainsi, *auto-dérégulatrice*. En conséquence, et malgré l'adjonction d'un régulateur sensible agissant sur l'admission, une turbine donnée de ce type ne peut servir dans de bonnes conditions de rendement et de vitesse que pour une chute bien déterminée. D'où la nécessité, presque pour chaque cas particulier, d'un appareil spécial, coûteux à fabriquer, entraînant d'ailleurs pour son étude une perte de temps considérable, des dessins et des modèles coûteux, etc. Sans compter qu'on risque d'obtenir de cet appareil spécial un rendement moins satisfaisant que d'un appareil établi sur un type longuement étudié,

amené graduellement au *summum* de la perfection.

Avec la turbine centripète, il en va autrement. L'eau pénétrant par la périphérie pour être évacuée vers le centre, doit lutter contre la force centrifuge. Des deux éléments antagonistes en présence, pression de l'eau d'une part, force centrifuge de l'autre, il résulte un

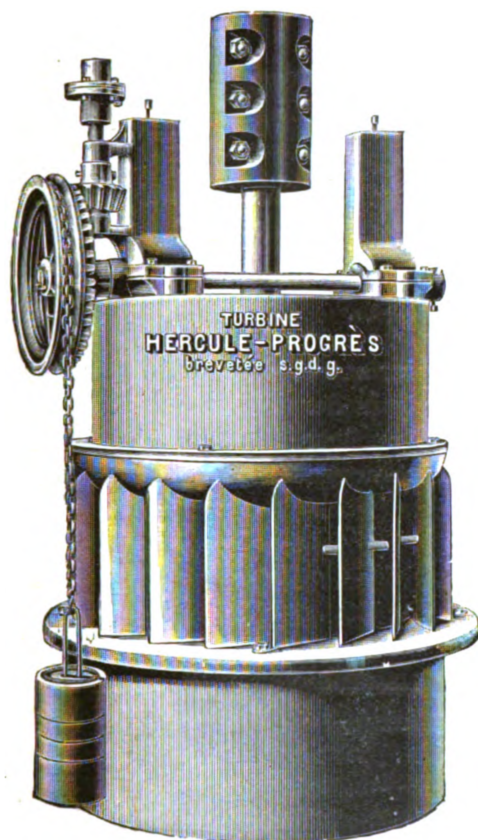


Fig. 1. — Vue perspective de la turbine.

état de régime qui correspond à une certaine vitesse de rotation de la roue. Que pour une raison quelconque la charge de la turbine vienne à diminuer ou la hauteur de chute à augmenter, la vitesse tendra bien encore à s'accroître; mais la force centrifuge augmentant aussitôt, accroîtra la contre-pression et diminuera le débit de l'eau, ce qui limitera la variation de vitesse à une valeur très faible.

La turbine centripète est donc à la fois : 1° auto-régulatrice par le simple jeu de son fonctionnement; 2° applicable par cela même à des hauteurs de chutes fort différentes sans que le rendement en souffre sensiblement ou que la vitesse en soit sensiblement affectée, grâce à la variation très rapide de la force centrifuge avec celle-ci.

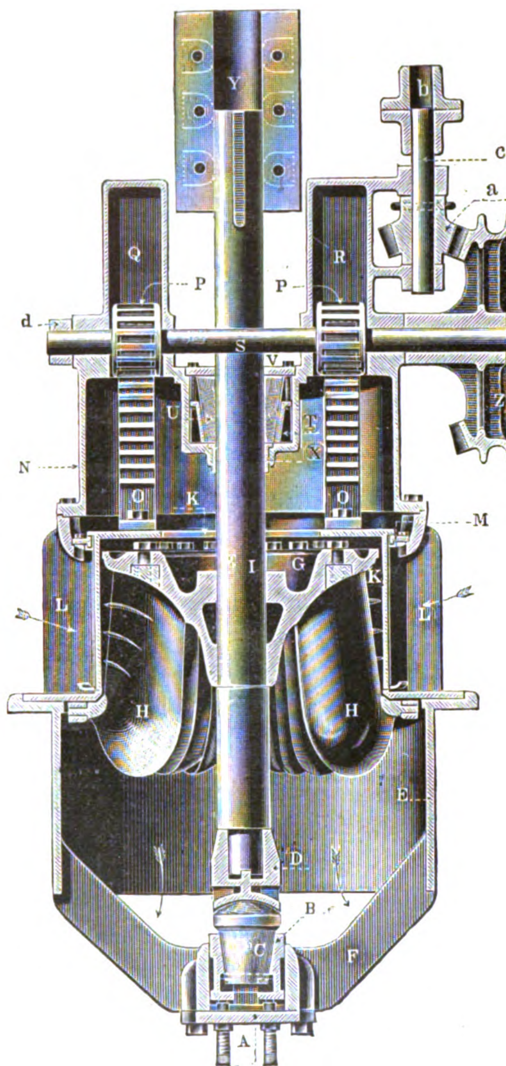


Fig. 2. — Coupe verticale par l'axe.

La méthode de travail américaine peut donc, comme nous le prévoyions, s'appliquer remarquablement à ce genre de turbines. Il suffira de faire un nombre de types très restreints, chacun applicable à des hauteurs de chutes comprises entre deux valeurs assez différentes, et la fabrication portera indéfiniment sur ces types.

Frappés de ces avantages sur lesquels nous venons d'insister un peu longuement peut-être, MM. Singrün frères, les constructeurs bien connus, ont emprunté à la méthode américaine ses procédés. Ils les ont mis en pratique sur une large échelle dans leur belle usine d'Épinal, où ils ont pris comme base de leur industrie, la turbine *Hercule*, qui, inven-

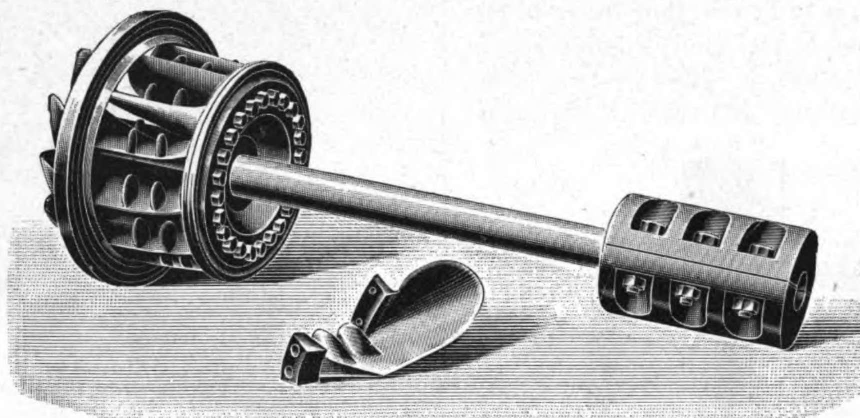


Fig. 3. — Aubage assemblé, vu en dessus.

tée par Mac Cornick il y a une quinzaine d'années, a rapidement acquis aux États-Unis une faveur méritée.

MM. Singrün ne se sont d'ailleurs pas bornés à copier et c'est à juste titre que, dans sa séance de juin dernier, la *Société d'Encouragement* a pu leur décerner une de ses plus hautes récompenses au titre de perfectionne-

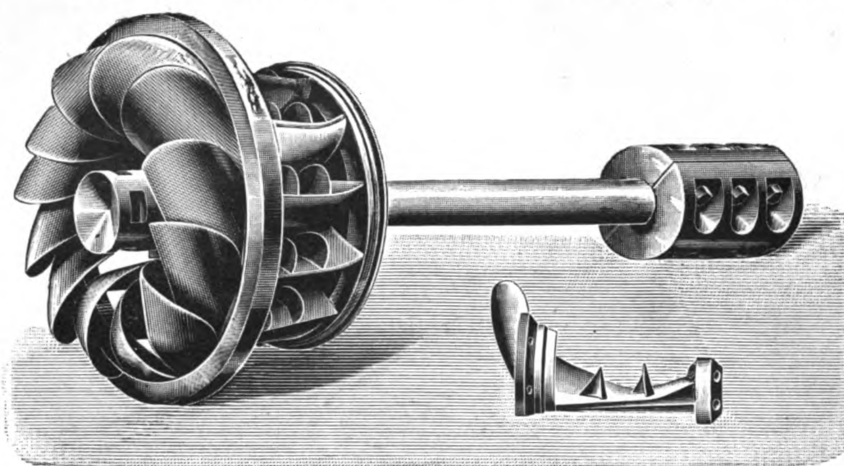


Fig. 4. — Aubage assemblé, vu en dessous.

ments à l'industrie des turbines. Et c'est pour caractériser ces perfectionnements apportés au type qui leur a servi de point de départ, qu'ils ont complété le nom de celui-ci par l'adjonction du qualificatif *Progrès*.

La turbine *Hercule-Progrès* dont la figure 1 montre une élévation en perspective et la figure 2 une coupe verticale par l'axe, est naturellement du type centripète, un peu modifié toutefois par la combinaison avec le type parallèle ; l'eau amenée obliquement sur l'aubage par les directrices fixes LL, se dirige d'abord horizontalement de la périphérie vers le centre en épuisant peu à peu sa force vive contre les aubes ; puis progressivement, sa trajectoire se modifie sous l'action de la pe-

santeur et elle termine son travail par réaction dans une direction sensiblement parallèle. La turbine Hercule n'est donc pas mixte seulement en ce qui concerne le mode de circulation de l'eau, mais aussi parce que le travail de celle-ci participe à la fois du mode des turbines d'action et de celui des turbines à réaction.

Pour permettre au travail par réaction dans la direction verticale de s'accomplir, on voit (fig. 3 et 4) que la partie inférieure des aubes est terminée en forme de cuiller. La forme de ces cuillers a pour conséquence de rejeter le liquide *épuisé* en sens inverse du mouvement de l'aube, et le profil en est calculé de telle façon que, comme nous l'avons rappelé précédemment, la vitesse absolue de l'eau qui vient de quitter l'aube est sensiblement nulle.

Tel est, en gros, le principe de la turbine Hercule, principe si rationnel que le type primitif de cette turbine, dans une nombreuse série d'essais officiels relatés par l'ingénieur hydraulicien bien connu, J. Emerson, a pu fournir les excellents résultats rapportés

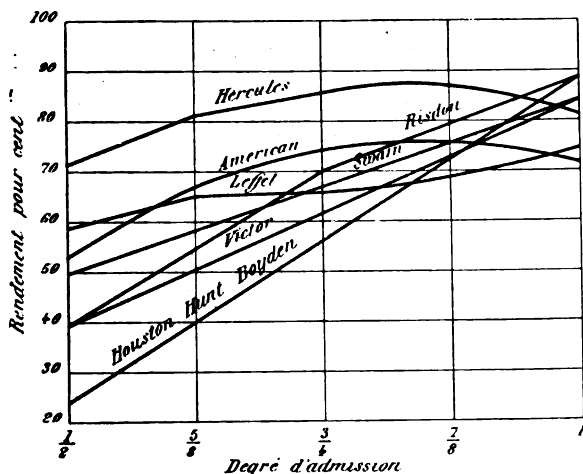


Fig. 5. — Rendement de différentes turbines en fonction de l'admission.

parmi les diagrammes de la figure 5. Ces expériences, obtenues en faisant varier pour chaque turbine en essai le degré d'admission de l'eau, accusent nettement la supériorité du rendement de la turbine Hercule sur les autres systèmes expérimentés.

Si remarquables que soient ces résultats, on va voir qu'ils ont été considérablement dépassés encore dans les types que l'usine d'Épinal livre aujourd'hui à l'industrie.

Dans une turbine, la considération du rendement à pleine charge ne doit pas seule intervenir ; c'est souvent, au contraire, lorsque la chute est en grande partie tarie par la sécheresse que l'on aurait intérêt à utiliser l'eau de la façon la plus complète, à épuiser jusqu'à la dernière portion l'énergie qu'elle recèle. La possibilité d'obtenir un bon rendement à faible charge présente donc une importance très grande et on voit, au simple examen des diagrammes de la figure 5 que la turbine Hercule est la seule des turbines essayées qui satisfasse à cette condition. Ayant donc la bonne fortune d'avoir entre les mains un instrument remarquable à ce point de vue spécial du rendement moyen, MM. Singrün frères se sont efforcés d'améliorer encore cette qualité spéciale et les perfectionnements qu'ils ont réalisés dans cet ordre d'idées, comptent à coup sûr parmi les plus intéressantes caractéristiques de l'appareil actuel.

Lorsque la quantité d'eau disponible pour l'alimentation d'une turbine ou simplement la charge de celle-ci diminue, on sait qu'on produit la réduction de débit nécessaire à l'aide d'un mécanisme approprié qui a pour effet de diminuer l'admission. Ceci peut se faire par plusieurs procédés, soit qu'on ferme complètement un ou plusieurs des orifices de distribution, soit qu'on les ferme partiellement tous à la fois. C'est cette dernière disposition qui est adoptée dans la turbine Singrün (fig. 1 et 2), où une vanne circulaire K, représentée abaissée, et que l'on manœuvre de haut en bas à l'aide des crémaillères OO commandées par la poulie à contrepoids Z, vient obturer plus ou moins en descendant, les orifices du distributeur.

Mais, d'une manière générale, quel que soit le dispositif adopté pour réduire le passage

de l'eau vers les aubes, ce dispositif est nécessairement défectueux si, de son côté, la capacité de l'aubage reste la même, car le liquide arrivant dans un espace disproportionné, subit des déviations dans sa marche, s'épanouit, ne suit plus la trajectoire pour laquelle le tracé des aubes a été effectué. Il s'en suit que l'eau s'écoule alors avant d'avoir cédé toute son énergie, ce qui explique, dans une large mesure, le mauvais rendement généralement constaté à faible charge.

Pour faire disparaître cette cause de mauvais fonctionnement, il serait donc nécessaire que la capacité de l'aubage restât proportionnelle à la quantité d'eau à admettre, *quel que soit* le degré d'admission. Il y avait à cela des difficultés pratiques que les constructeurs ont résolues d'une heureuse façon en divisant chacune de leurs aubes dans le sens de la hauteur en un certain nombre de compartiments amorcés par de petites cloisons ou directrices (fig. 3 et 4) venues de fonte. Grâce à cet artifice, la vanne, partiellement levée, découvre un ou plusieurs compartiments de l'aubage, dont la capacité reste toujours ainsi sensiblement proportionnelle à l'admission. Comme, en outre, la partie inférieure de la vanne *K* porte également de petites directrices, visibles figure 2, les filets d'eau, parfaitement guidés depuis leur entrée, peuvent agir suivant la trajectoire ordinaire, sans s'épanouir ou se contracter, sans former de remous préjudiciables au rendement; dans ces conditions, ils n'abandonnent les aubes qu'après leur avoir cédé la portion normale de leur énergie. On arrive en fait à ce résultat d'avoir à l'admission maximum plusieurs turbines travaillant en quantité, tandis qu'à l'admission particlle, une ou deux seulement de ces turbines fonctionnent, mais toujours à pleine charge, de sorte que le rendement est, de cette façon, rendu presque indépendant de la charge.

On voit sur le diaphragme comparatif (fig. 6), les conséquences des perfectionnements apportés par les constructeurs au type primitif; on y peut constater à quelles valeurs remarquables est passé le rendement moyen. On voit également que le rendement maximum a été de son côté relevé plus considérablement encore, ce qui tient à de nombreux perfectionnements de détail dans le

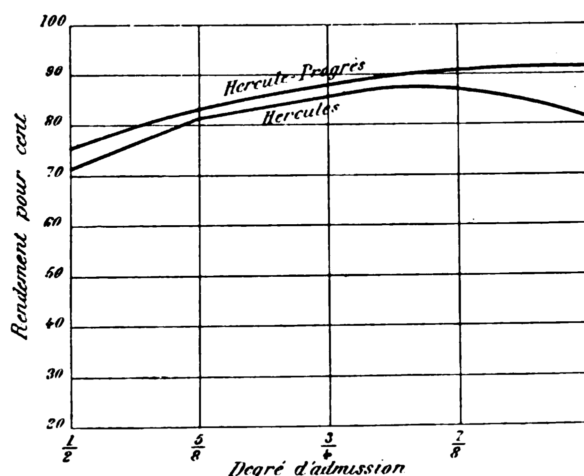


Fig. 6. — Rendements comparés de l'ancien et du nouveau type Hercule.

profil des aubes et des directrices, dans la rectification plus parfaite des surfaces à l'aide de la meule, et surtout dans une modification au système de fixation des aubes que nous allons signaler.

Cette fixation des aubes sur leur support (fig. 7 et 8) s'effectuait autrefois à l'aide d'un bouton unique (fig. 8) rentrant dans un logement cylindrique où il était retenu par une seule vis. Cette disposition, qui pouvait suffire pour les turbines de faible puissance, était tout à fait insuffisante lorsqu'il s'agissait de machines puissantes. Après quelques années de fonctionnement, par suite de la forme ronde du bouton et de la faible portée de la surface d'appui, les aubes fléchissaient graduellement et la rupture de tout le système en était assez fréquemment la conséquence. On avait bien été conduit, pour obvier à ce grave inconvénient, à donner aux boutons une dimension plus grande ; mais cela se traduisait par un renflement qu'il fallait faire venir à la naissance de l'aube pour consolider le téton, d'où une modification du profil des aubes qui intervenait pour changer défavorablement la

trajectoire du liquide et provoquait la diminution de rendement constatée à pleine charge (fig. 6).

Actuellement (voir figure 7), le montage s'effectue de toute autre façon. Une rainure circulaire a été creusée dans le porte-aubes. Chaque aube s'y engage par un patin tourné et raboté qui remplace le bouton primitif et qui est solidement maintenu à l'aide de deux vis. Lorsque l'assemblage est terminé (fig. 3 et 4), il se présente sous la forme d'un ensemble extrêmement rigide d'une durée indéfinie. En même temps, le renflement que nécessitait le bouton à la partie supérieure des aubes, a été supprimé, ce qui s'est traduit (fig. 6) par la suppression du crochet fâcheux que l'on remarquait vers la pleine charge dans la courbe de rendement du type primitif.

En dehors de ces perfectionnements relatifs au rendement, un grand nombre de modifications intéressantes ont été apportées aux récents appareils dans le but soit d'en faciliter la construction et l'installation, soit d'en rendre plus aisés l'examen et la réparation. Nous ne pouvons naturellement que signaler ici les plus importantes.

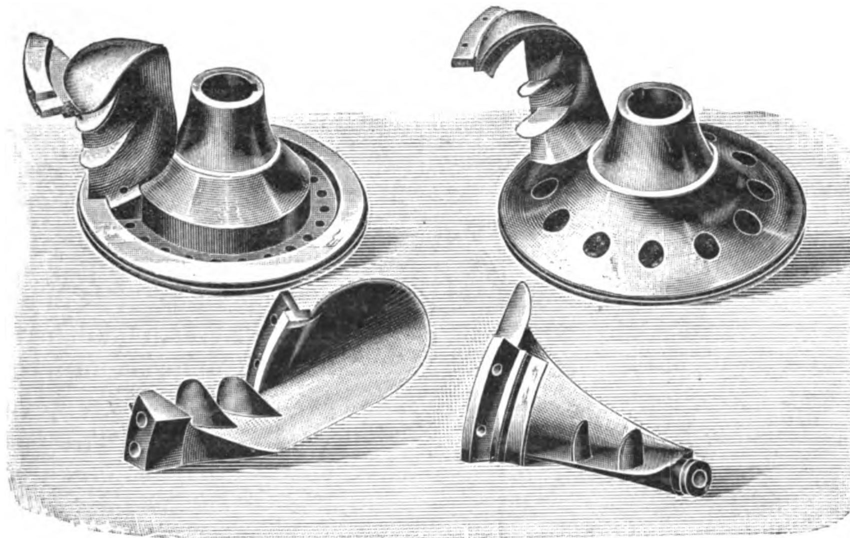


Fig. 7 et 8. — Modes de fixation des aubes : ancien à droite et nouveau à gauche.

L'une de celles-ci a consisté à placer l'arbre horizontal S commandant le vannage à l'extérieur du dôme de l'appareil alors qu'il était placé auparavant à l'intérieur de ce dôme, lequel était par conséquent beaucoup plus élevé.

Cette disposition avait l'inconvénient grave de forcer à placer au-dessus de l'arbre le boitard V supportant l'axe de la turbine, et qui faisait alors partiellement saillie à la partie supérieure du dôme. On se rendra compte de cet inconvénient quand on saura qu'il est indispensable, pour le bon fonctionnement de la turbine, que le boitard soit constamment lubrifié par l'eau et que par conséquent la turbine soit immergée jusqu'à cette partie dans l'eau du canal de fuite. Comme dans les appareils primitifs, la hauteur totale était très grande, il fallait, pour obtenir cette immersion, creuser et aménager le lit du canal jusqu'à une assez grande profondeur. En plaçant l'arbre de vannage au-dessus du dôme comme le montrent les figures 1 et 2, sans faire varier d'ailleurs sa position en hauteur, on a pu s'affranchir de ce cette difficulté car cela a permis de placer le boitard non plus au-dessus, mais *au-dessous* de l'arbre, en l'encastrant complètement dans le couvercle

du dôme, d'où réduction au strict minimum de la profondeur d'immersion.

Quant à ce boitard, dans sa forme actuelle (fig. 2) il est constitué en deux pièces avec 4 coussinets en bois dur U, réglés par 4 coins métalliques à vis T qui permettent de centrer l'axe I dans la garniture à douille.

La disposition sus-énoncée n'a pas seulement l'avantage de se traduire par la facilité du graissage parfait du boitard sous des hauteurs de chutes même très faibles; elle a encore comme conséquence de permettre, en cas de besoin, un examen bien plus rapide et plus aisé de l'intérieur du système. Autrefois, cet examen nécessitait le démontage complet du dôme, du boitard, des supports de l'arbre horizontal, de la poulie à contrepoids, etc. Dans le modèle actuel, il suffit de déboulonner les deux boites Q et R servant de recouvrement aux crémaillères et aux pignons de commande pour pouvoir accéder facilement au mécanisme d'admission.

Dans le même ordre d'idées, l'une des directrices fixes du distributeur a été rendue démontable par le simple dévissage d'une vis et permet d'accéder directement à l'aubage, la vanne d'admission étant préalablement remontée.

Enfin, la vanne de distribution K elle-même est aisément démontable. Il suffit d'enlever le dôme et d'enlever par côté chacune des moitiés de l'anneau M pour laisser le passage aux ailettes directrices de la partie inférieure de la vanne et permettre d'enlever celle-ci.

La figure 2 indique une autre modification qui a été apportée récemment et qui, pour cette raison, ne figure pas encore à l'appareil représenté figure 1. C'est celle du croisillon F qui sert à supporter le pivot C de l'arbre. Ce croisillon, dans les appareils tels que celui de la figure 1, se trouvait à l'intérieur même du tube de fuite où il gênait la circulation de l'eau et occasionnait des remous préjudiciables.

Aussi l'a-t-on reporté au dehors de ce tube par une forme convenable donnée à ses bras. On a ainsi supprimé la légère contre-pression qui pouvait s'établir de ce fait et par conséquent on a gagné sur le rendement. Peu de chose assurément, mais on a coutume de dire que les petits ruisseaux font les grandes rivières et c'est en accumulant des détails aussi minuscules qu'on est parvenu à faire de la turbine l'excellent instrument qu'elle est aujourd'hui.

Il est à remarquer que dans la nouvelle turbine, l'appareil s'est allongé par en-dessous, par le fait de cette « extériorisation » du croisillon, d'une quantité à peu près égale à celle dont il s'est raccourci à la partie supérieure par le passage à l'extérieur de l'arbre de vannage. Il ne faudrait pas en conclure que les constructeurs ont eu tort d'insister sur les avantages de ce raccourcissement car il est évident que l'évacuation de l'eau empêche de faire reposer directement la turbine sur le plafond du canal de fuite, de sorte que la présence du croisillon dans l'intervalle nécessaire ne présente aucun inconvénient.

Le pivot C de l'arbre, qui est d'ailleurs rendu facilement accessible par le fait même de la nouvelle disposition du croisillon, présente une particularité digne d'être notée. Il est en *bois dur*, en forme de champignon encastré dans la crapaudine B. L'expérience a consacré l'efficacité et la durée d'un pareil dispositif, ce qui est d'ailleurs moins surprenant qu'il ne paraît au premier abord, la charge que ce pivot a à supporter en fonctionnant étant considérablement réduite grâce à la réaction verticale de l'eau à la sortie.

La hauteur des chutes d'eau, surtout quand elle est faible, subit, d'une saison à une autre, des variations dont l'importance relative peut être très grande, soit qu'en temps de crue le niveau s'élève dans le canal de fuite, soit qu'en temps de sécheresse le contraire se produise. Grâce au principe même sur lequel elle est basée, la turbine *Hercule* supporte ces variations sans que son rendement ni que sa vitesse en soient sensiblement affectés.

Comme le noyage lui est indifférent et qu'elle est placée tout en bas de la chute, elle tire parti en temps de crues de toute la différence de niveau qui reste disponible, tandis qu'en temps de sécheresse, grâce à l'abaissement du niveau d'aval, elle peut utiliser le léger supplément de hauteur correspondant, d'autant plus précieux par suite du manque d'eau. C'est là encore une supériorité précieuse sur d'autres systèmes qui nécessitent d'être placés un peu plus haut que le niveau d'aval et dans lesquels l'eau de décharge ne pouvant agir par aspiration, tombe, sans effet utile, d'une certaine hauteur.

Pour faire ressortir les qualités de constance et de vitesse par lesquelles se distingue la turbine Hercule-Progrès, nous ne saurions mieux faire que de reproduire les résultats des essais officiels de réception à la poudrerie de Vonges d'une petite turbine de 25 chevaux. Cette turbine a été essayée au frein successivement sous trois hauteurs de chutes différentes et a fourni les résultats suivants :

Hauteur de chute en mètres	2,185	2,053	1,500
Débit en mètres cubes : s	0,988	0,976	0,893
Vitesse angulaire en t : m.	91,1	95,4	91,3
Puissance au frein en chevaux	24,036	21,875	14,970
Rendement p. 100	82,6	82,2	82,3

Ajoutons, d'ailleurs, que d'autres essais de contrôle, effectués pour la réception définitive, ont fourni des résultats encore plus remarquables.

Nous nous bornerons ici.

Nous pensons d'ailleurs en avoir assez dit pour montrer que la fabrication de l'usine d'Épinal valait à tous égards d'être signalée. Elle le méritait par la perfection des résultats obtenus avec les appareils qu'elle produit, perfection qui en fait des instruments extrêmement précieux pour notre industrie. Elle le méritait peut-être plus encore par l'exemple qu'elle donne, si rare encore dans notre pays, de l'initiative résolue autant qu'intelligente des principes de construction qui ont fait à eux seuls la fortune industrielle de nos rivaux d'outre-Mer.

J. Reyyal.

LES LAMPES A INCANDESCENCE [1]

La construction des lampes à incandescence fait chaque jour de nouveaux progrès leur permettant de marcher pour longtemps à des voltages de plus en plus élevés ; mais ce sont là des progrès plus faciles à constater qu'à décrire, car ils sont, en général, le résultat non d'inventions bien définies, mais plutôt d'expériences et de soins accumulés dans la fabrication. Nous n'aurons, en somme, à décrire ici que quelques perfectionnements et modifications de détail intéressants, néanmoins, pour les spécialistes.

Le culot en porcelaine A (fig. 1 à 12), de la monture de M. A. Swan, est percé de deux trous *a*, biseautés sur leurs bords intérieurs et destinés à recevoir les contacts métalliques constitués par des capsules en cuivre à fonds b_2, débordant ou encastrés dans la porcelaine : des projections métalliques *c*, isolées ou constituées par les extrémités d'une aiguille *cc* (fig. 2), permettent d'emmancher ce culot sur un joint à baïonnette.

Dans le type représenté par la figure 3, le culot porte un piton fileté *b*, qui constitue l'une des bornes de la lampe, dont l'anneau forme le second contact par un ressort qui lui amène le courant. Ces connexions peuvent aussi (fig. 4) être constituées par un bouton *d*, avec contact à ressort et par un anneau métallique *f*, à l'autre extrémité de A,

[1] *L'Éclairage Électrique*, 21 mars 1896.

ou, enfin (fig. 5), par une douille métallique f_2, sur l'emmanchement fileté de A et par un bouton B.

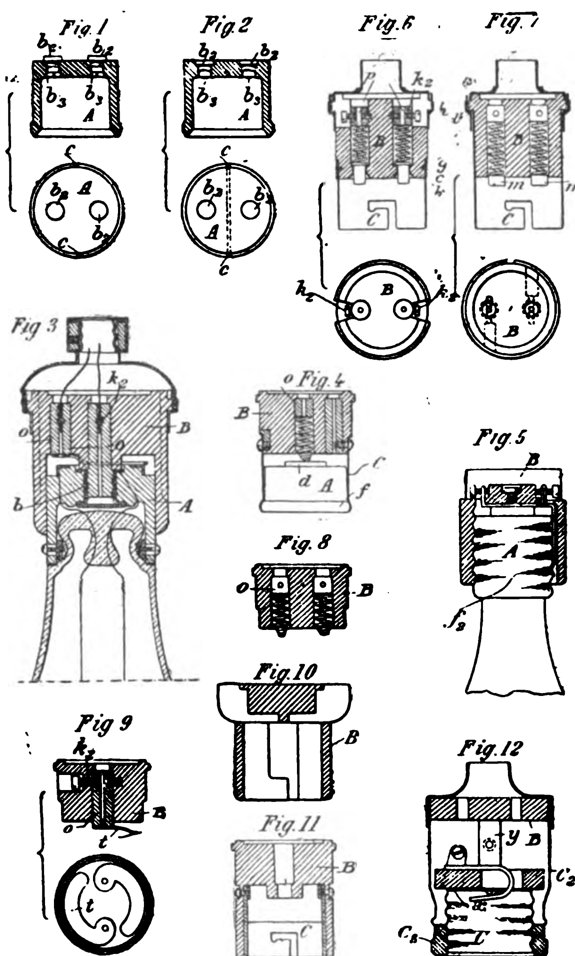


Fig. 1 à 12. — Montures Swan (1895).

La monture (fig. 6), adaptée au culot (fig. 1), se compose d'un bloc de porcelaine B, percé

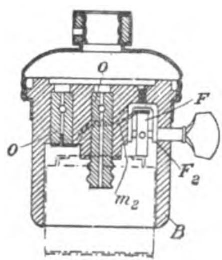


Fig. 13. — Monture Swan.

de deux trous pour recevoir les ressorts des contacts *m m* auxquels aboutissent les fils amenés de *p* et percés par les vis k_2, et pourvus d'une douille à bayonnette C. La variante représentée par la figure 7, et qui s'explique d'elle-même, s'adapte au culot (fig. 2). Dans le cas de la figure 6, chacune des bornes *m* est formée par un petit bouchon, avec ressort en bronze phosphoreux assez large pour ne jamais échapper les boutons b_2 (fig. 1).

Pour les hauts voltages et dans les endroits

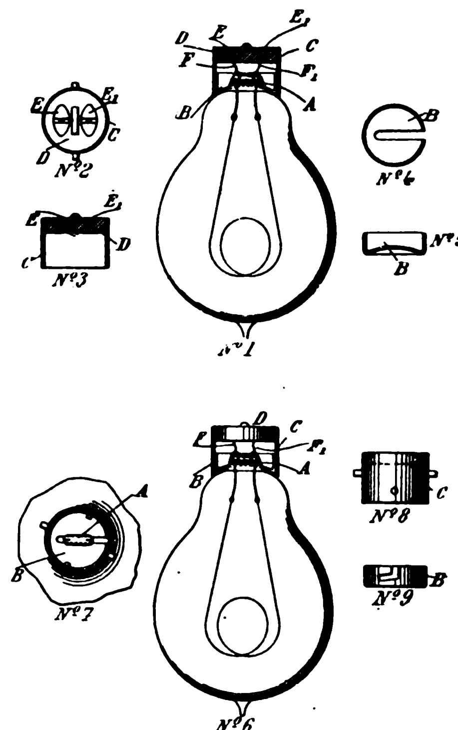


Fig. 14 (nos 1 à 9). — Monture Edison Swan (1895).

humides, le joint à baïonnette est (fig. 10) lui-même en porcelaine, ou (fig. 11) protégé par de la porcelaine.

Dans ce type (fig. 3) les fils sont aussi pincés dans leurs bouchons *oo* par des vis k_2.

On peut avec le type (fig. 12) constituer la monture par une douille filetée C isolée de la douille extérieure C_2, et reliée en *x* par des vis pénétrant dans les blocs métalliques *y* de la porcelaine B.

La fignre 13 montre comment on peut adapter à ces montures une clef F, ouvrant ou fermant le circuit par la came F_2 et son ressort m_2.

La lampe Edison-Swan, représentée par les figures 14 (n° 1 à 9), se termine par une partie

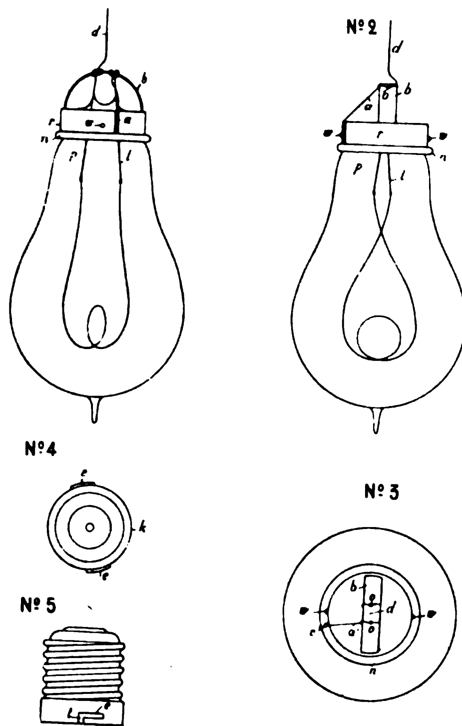


Fig. 15 (n°s 1 à 4). — Monture Germer et Huller.

trapézoïdale que l'on passe dans la fente B (n° 4) du culot, sur lequel on soude la monture C, à contacts E E_1, dans le fond isolant D, B peut être soit cimenté sur l'ampoule, soit fixé simplement par la queue d'hironde A, et

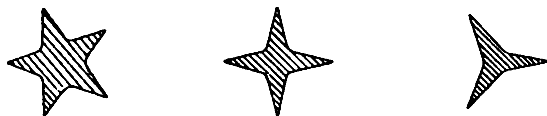


Fig. 16. — Filaments Estrade (1895).

relié à C par un simple joint à baïonnette (fig. n° 9). Dans tous les cas, les attaches des filaments F F_1 sont reliées aux bornes E E_1 sans contact passible avec des parties métalliques pouvant provoquer des courts circuits.

Le culot de MM. Germer et Huller (fig. 15, n° 1 à 4) aussi en porcelaine, en forme d'une douille *r*, cimentée sur l'ampoule, avec une anse *b*, à trous *oo* pour le passage des attaches *d* et *a* aux amorces *p* et *l*, assez lâches pour ne pas être abîmées par des secousses. Le culot *r* est relié à la monture par un joint à baïonnette *w*, *t*, *e*, puis attaché définitivement à cette

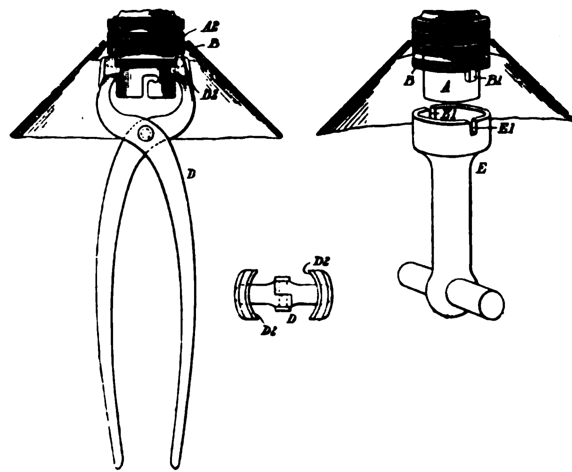


Fig. 17 à 19. — Abat-jour Benham et Smith (1895).

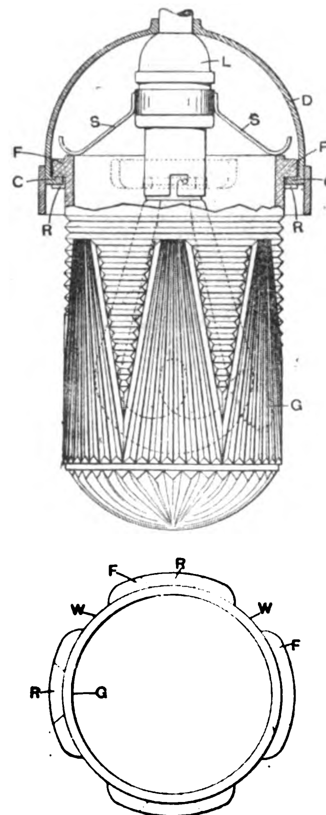


Fig. 20 et 21. — Diffuseur Cooper (1895).

monture par la soudure — facile à défaire — du piton *c* dans la coulisse *e*.

M. J. Estrade a proposé de donner aux filaments une section polygonale (fig 16) augmentant à la fois leur solidité aux voltages élevés et leur pouvoir rayonnant.

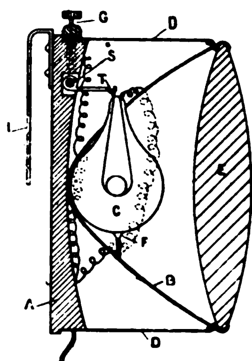


Fig. 22. — Lampe pour vélocipèdes de Burnet.

MM. Benham et Smith emploient, pour fixer les abat-jour sur les lampes, un écrou B (fig. 17), qui pince l'abat-jour entre sa base et celle de la monture A_2 et que l'on manœuvre au moyen d'une pince spéciale D avec butée D_2, empêchant de briser B par un serrage excessif. Cette pince peut être (fig. 19) remplacée avantageusement par une clef E E_1, prenant sur les projections B_1 de B.

Le globe diffuseur C de la lampe Cooper est (fig. 20) relié au porte-lampe L par le dôme D

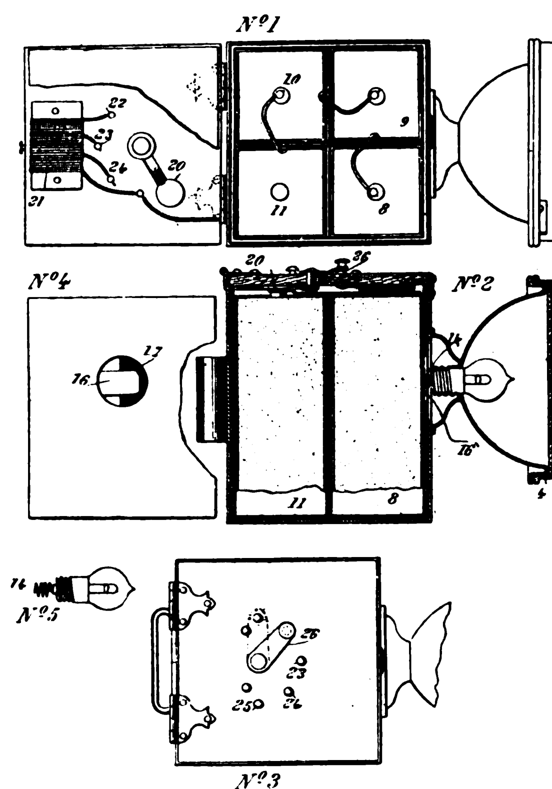


Fig. 23 (n° 1 à 5). — Lampe portative de l'Acme Electric Lamp C° (1895).

et le joint à quatre pans F C, sur lequel il



Fig. 24. — Lampe portative de l'Electric Portable Lamp C°.

est appuyé par le ressort S. C'est une attache à la fois solide et facile.

La petite lampe pour vélocipèdes de Burnet est (fig. 22) suspendue en F et T dans le

réflecteur B, encastré dans le tube D, qui porte la lentille E. Une vis à double écrou G ferme le circuit de la pile par le contact *s* de T, et la lampe porte à l'arrière un crochet de suspension I.

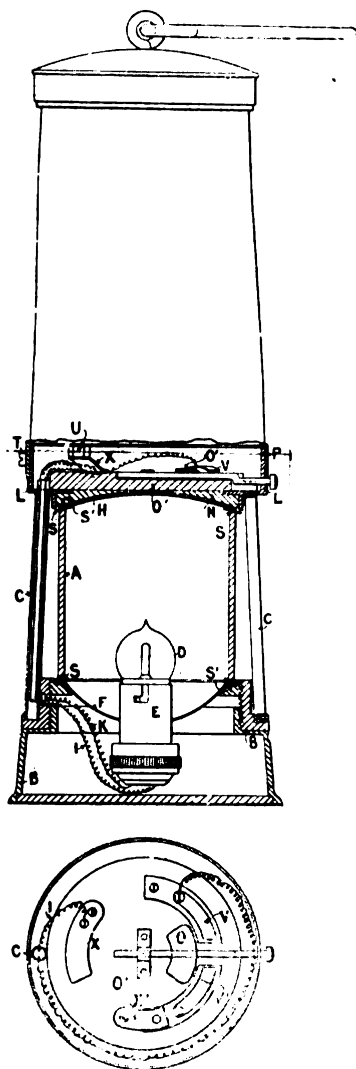


Fig. 25 et 26. — Lampe de mineur Headland (1895).

La boîte de la lampe portative de l'Acme Electric Lamp C° de New-York, est (fig. 23) divisée en quatre compartiments 8, 9, 10, 11, renfermant chacun une pile sèche zinc-carbone, reliées en série : le zinc de l'une au carbone de l'autre. Le ressort 14 de la lampe fait contact avec la lame 16, reliée au zinc de la pile 8, et séparée de celui de 9 par un isolant 17. Le couvercle de la boîte porte un contact 20 pour le charbon de la pile 11, fermant le circuit par l'aiguille 26 d'un rhéostat 21, à touches 22, 23, 24 et 25, permettant de graduer la puissance de la lampe.

L'Electric Portable Lamp Company d'Elmira fabrique (fig. 24), pour bicyclistes et pour

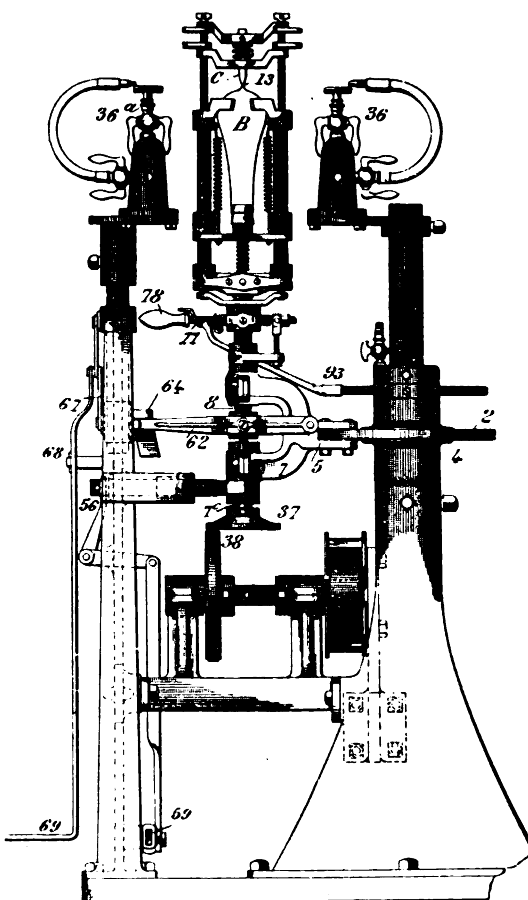


Fig. 27. — Machine à souder les lampes Lean et Massy (1897).

mineurs, des lampes, avec élément Leclanché, d'un aspect robuste et simple, à fermeture au caoutchouc et pouvant durer 10 heures.

La lampe de Headland (fig. 25) a l'aspect des lampes de mineur ordinaires. La lampe D, montée dans un cylindre de verre A, pourvu de réflecteurs H et F, reçoit son courant des fils I et K passés dans l'un des tubes C, qui protègent D contre les chocs, amortis d'autre part par les garnitures de caoutchouc S. La pile est logée

dans l'auge M, fixée par des vis T, faciles à enlever, et pourvue d'une touche U, fermant les contacts X X_1, et d'un commutateur O, ouvrant ou fermant par V V le circuit de la lampe, sans danger d'étincelles à l'extérieur.

La machine de MM. Lean et Massy, construite par la Buckeye Electric C°, de Cleveland, a pour objet de souder mécaniquement

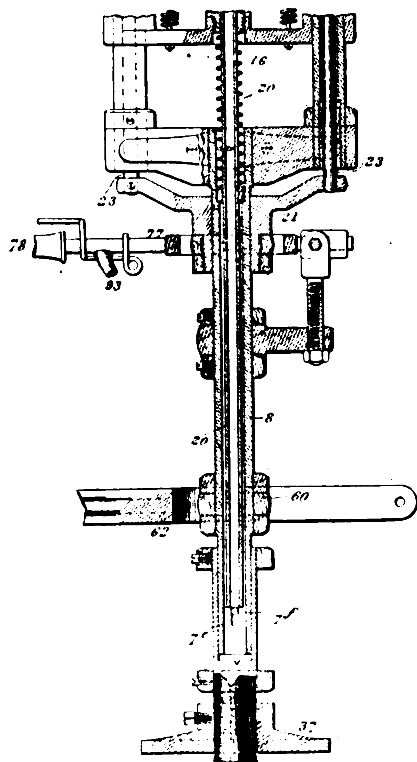


Fig. 28. — Machine Lean et Massy (coupe verticale par le tube 20).

à l'ampoule B (fig. 27) son tude à vide C. Voici comment elle fonctionne :

Après avoir, comme en figure 27, emmanché sur le bouchon en caoutchouc 16 (fig. 28) l'ampoule B, maintenue par le chuck 11, que pressent sur elle les ressorts 16 et 17, on tourne la table 2 (fig. 27) à roulement de billes 4, de manière à amener son bras 5 et son attirail, dans la position figure 27, avec le haut de B entre les flammes de gaz 36, 36_a. Cette même rotation de la table 2, qui porte plusieurs bras 5 et autant d'attirails, amène le trou 91 (fig. 31) de l'anneau correspondant à l'attirail en fonction, en présence de l'orifice 87 de la prise d'air com-

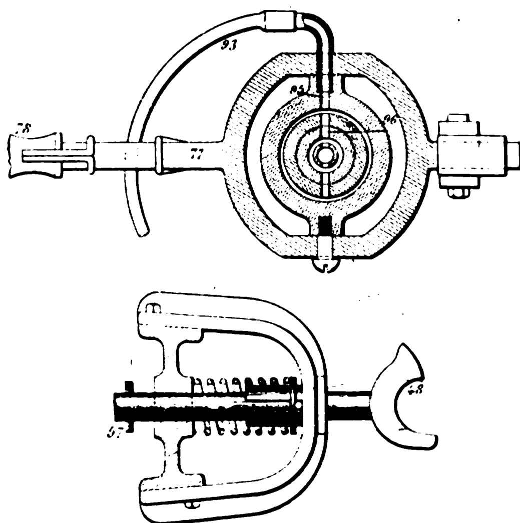


Fig. 29 et 30. — Machine Lean et Massy. Coupé par 77 (fig. 28) et détail du cliquet 48.

primé, ainsi amené par 87, 91, 92 et le tuyau flexible 93 (fig. 28) à pince 77, d'où il

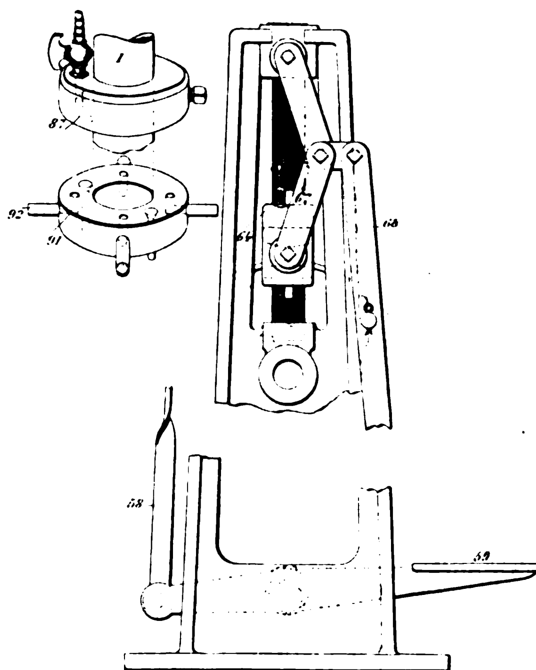


Fig. 31 à 33. — Machine Lean et Massy. Détail de la prise d'air 87-91 et du genou 67.

passe, autant que le permet cette pince, au tube 20 par 95, 96 (fig. 29 et 31). Ceci fait, on

amène le plateau 37 (fig. 27) au-dessus de la poulie 38, qui imprime ainsi par le tube 8 une rotation rapide à l'ampoule B, dont on règle la position verticale par la pédale 69 et le renvoi 68, 67, 64, 62 (fig. 27 et 33), la goupille 7_f (fig. 28) à coulisse 7_e empêchant le

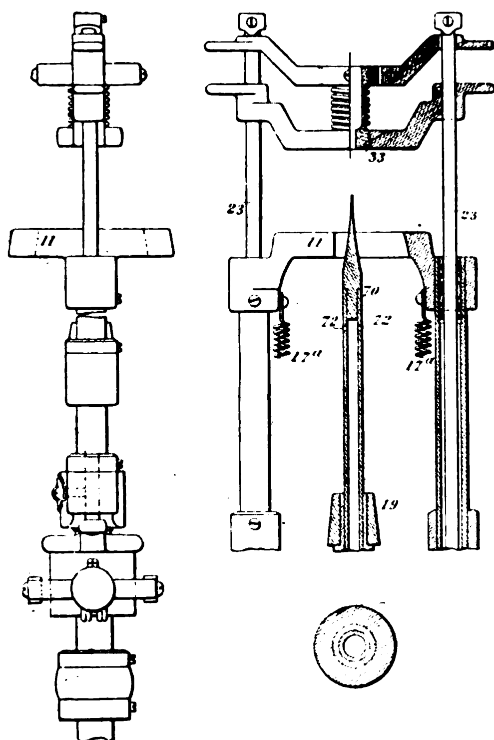


Fig. 34 et 35. — Machine Lean et Massy. Détail de la pointe 72.

tube 20 de suivre ces déplacements verticaux.

L'air comprimé soufflé par les trous 72 (fig. 34) au tube 20 perce ainsi dans le haut de l'ampoule ramolli par les flammes un petit trou exactement dans l'axe de l'ampoule. Dans le cas où, à cause d'une épaisseur exceptionnelle du verre, l'air comprimé ne suffirait pas à percer le trou, on y ajoute l'action du poinçon 70, qui termine le tube 20, sur lequel on abaisse l'ampoule, comme en figure 36, par le levier 78, la pédale 69.

Aussitôt après le perçage de ce trou, on ferme l'admission de l'air comprimé en 20 et l'on abaisse par le levier 78 le croisillon 22 (fig. 28) et les tiges 23, le tube C, pris dans le chuck 33, sur l'ampoule B, pour en opérer la soudure en donnant de nouveau, et de temps en temps, l'air comprimé.

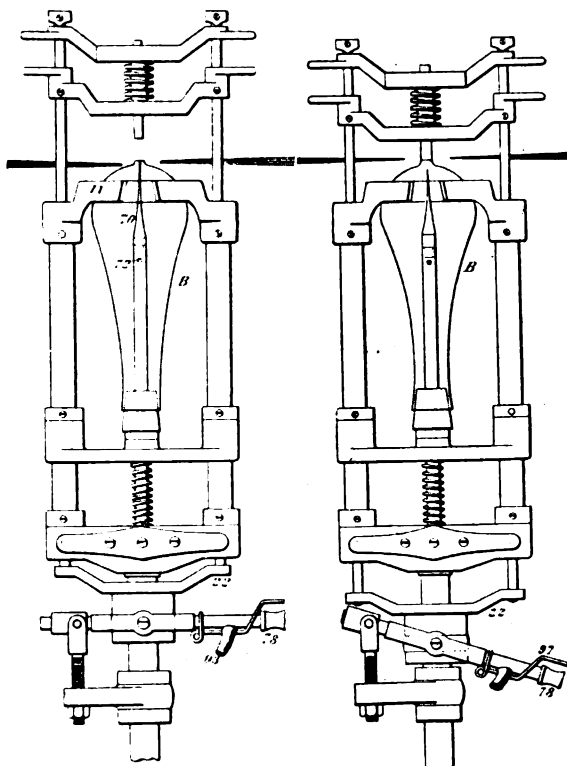


Fig. 36 et 37. — Machine Lean et Massy. Fonctionnement du tube 72.

Cette soudure faite, on déclenche par 59, 56 (fig. 27 et 30) le cliquet 48, qui maintenait l'attirail dans sa position (fig. 27), on tourne la table 2 de manière à éloigner l'ampoule de la flamme puis, par 77 ; on soulève C de manière à l'étirer comme en 73 (fig. 27), tout en continuant à souffler, le déplacement de la table nécessaire pour éloigner un peu le tube de la flamme ne suffisant pas pour couper l'air comprimé.

On obtient ainsi des soudures rapides de tubulures parfaitement centrales.

G. Richard.

ENDOSMOSE ÉLECTRIQUE (1)

DEUXIÈME PARTIE

RELATIONS NUMÉRIQUES ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES DÉTERMINANTS ET LES EFFETS CHIMIQUES ET MÉCANIQUES PRODUITS.

1° Division des recherches

Les recherches de la première partie ont montré :

1° Les variations de concentration dues au passage du courant dans un appareil sans diaphragme;

2° L'existence simultanée des phénomènes d'électrolyse et d'osmose, lorsqu'un courant galvanique traverse une auge remplie de liquide, séparée en deux compartiments par un diaphragme.

Les deux séries d'expériences ont eu pour objet les variations de composition et les transformations chimiques subies par les corps dissous. L'analyse des phénomènes déterminants n'était pas faite.

Les expériences suivantes ont eu pour but la recherche des relations entre les volumes ou les poids des liquides déplacés d'une part, les caractéristiques des phénomènes déterminants, d'autre part.

On peut diviser le problème de la manière suivante :

1° Déterminer les relations entre le changement d'équilibre des liquides et les phénomènes électriques qui les produisent.

2° Chercher si l'action est réciproque. Les variations déterminent-elles un phénomène électrique correspondant?

3° Vérifier la réciprocité.

4° Découvrir le mécanisme par lequel les changements sont effectués.

2° Discussion des données

Données du problème : les données sont le liquide, le diaphragme.

La précision de la question nécessite la définition de l'état des substances employées et des conditions électriques dans lesquelles les corps se trouvent.

1° *Liquides*. — Les liquides employés ont été des dissolutions salines, l'eau, quelques composés organiques.

Les recherches entreprises pendant les vingt dernières années, en particulier celles de M. Kolhrausch et celles de M. Bouty sur la conductibilité des dissolutions salines, montrent l'incertitude des résultats antérieurs, la difficulté du problème, et les résultats acquis. Si la résistance d'une dissolution est déterminée au début d'une expérience, les variations de composition dues à l'électrolyse modifient promptement les conditions initiales.

Il résulte des expériences de M. Foussereau (*Journal de physique*, 2e série, t. IV, p. 208) et de la note que j'ai publiée dans le *Journal de physique*, 3e série, t. IV, p. 293, (*L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 473), que l'eau n'est pas un liquide défini, que les constantes de l'eau n'existent pas.

La composition des liquides organiques employés, alcool, essence de térébenthine du commerce, sulfure de carbone, pétrole, huile animale n'est pas déterminée; la résistance électrique de ces liquides était inconnue.

Il faut en outre remarquer que toutes les mesures de résistance des liquides ont été faites dans des liquides immobiles, et qu'on ne peut pas étendre à des liquides en mouvement les résultats obtenus, sans s'exposer à des erreurs de grandeur inconnue.

2° *Solides*. — Deux catégories de solides sont seuls définis au point de vue électrique.

1° Les corps bons conducteurs, les métaux;

2° Les corps isolants.

La résistance des premiers est déterminée; la résistance des seconds est infinie; en de-

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* des 9, 16 et 23 octobre, p. 49, 116 et 168.

hors de ces données, l'incertitude règne, les résistances sont inconnues.

3° *Différence de potentiel au contact.* — Les différences de potentiel au contact des liquides et des solides sont :

Indéterminées, dans le cas où le métal est en contact avec l'eau;

Variables avec le temps, dans le cas où le métal est en contact avec une solution saline quelconque;

Inconnues dans le cas où les métaux sont en contact avec des isolants.

La différence de potentiel au contact des isolants et des liquides est indéterminée et indéterminable actuellement.

La pénétration des charges dans les diaphragmes est inconnue. Le diaphragme se présente comme un condensateur de constitution non définie dans lequel la substance la plus conductrice, en général le liquide, constitue les armatures, et dont la substance la moins conductrice, généralemet le solide, joue le rôle de diélectrique. La charge est fonction très complexe du temps. Les résidus, au moment de la décharge, ne sont pas négligeables comme le croit M. Quincke (*Ann. de Pogg.*, t. CXIII, 1861).

En résumé, toutes les données qui pourraient permettre de définir l'état relatif du liquide et du diaphragme font défaut. La question est réduite à la recherche des liaisons entre les phénomènes produits de part et d'autre du diaphragme et les phénomènes électriques déterminants. Un état hypothétique suggéré par l'ensemble des résultats pourra seul suppléer à l'ignorance des faits et interpréter le rôle du diaphragme.

4° *Sources d'électricité. Électrodes.* — De grandes difficultés existent encore lorsqu'il faut définir; 1° les sources électriques; 2° les rapports entre les électrodes et les liquides.

a. *Sources d'électricité.* — Les sources d'électricité doivent être caractérisées par la différence du potentiel aux pôles, valeur maintenue constante pendant toute l'expérience, ou soumise à des variations, fonction déterminée et connue du temps.

L'emploi de l'élément Daniell par M. G. Wiedemann (*Ann. de Poggendorff*, t. LXXXVII-XCXIX), de l'élément Grove par M. Quincke (*Ann. de Poggendorff*, t. CVII-CX-CXIII), ne réalisait pas la constance désirable. La vérification de la constance n'était d'ailleurs pas mieux réalisée par M. Quincke avec 79 éléments Grove. La réalisation est obtenue seulement par M. Saxén (*Ann. de Wiedemann*, t. XLVII, an. 1892, p. 46), en employant 35 éléments Daniell de gravitation. M. Saxén a constaté que plusieurs mois après l'installation de la pile, la force électromotrice était constante, sauf de très petites oscillations dans le courant de la journée.

En utilisant la décharge d'une bouteille de Leyde, M. Quincke (*An. de Pogg.*, t. CXIII, an. 1861, p. 513 et suivantes) produit une différence de potentiel variable, fonction inconnue du temps.

b. *Différence de potentiel entre les électrodes et les liquides.* — Les différences de potentiel ainsi produites sur les deux électrodes étaient destinées à maintenir une différence correspondante entre les deux régions d'un liquide. Or une nouvelle chute de potentiel a lieu au contact de l'électrode et du liquide.

L'invariabilité de la différence de potentiel au contact des électrodes et des liquides exige l'emploi d'électrodes impolarisables. La disposition est réalisable dans le cas seulement où l'électrode peut être faite avec le métal qui entre dans la composition du sel, cas réalisé par M. G. Wiedemann dans une série d'expériences avec dissolution de sulfate de cuivre (*loc. cit.*, p. 330), et discutée avec un soin particulier par M. Saxén.

Avec dissolution de sulfate de zinc
» » de cuivre
» » de cadmium.

Lorsque le liquide est l'eau, un acide, une base, une solution d'un sel dont le métal ne peut pas être obtenu en lame, comme le fait a lieu dans les expériences de M. G. Wiede-

***

mann et dans les expériences de M. Quincke, la polarisation ne peut être évitée, la mesure dans laquelle la polarisation intervient ne peut pas être déterminée.

Lorsque le liquide est de l'alcool ou un composé organique, la différence de potentiel au contact du métal et du liquide n'est plus définie. M. Quincke, et après lui M. Tereschin se bornent à en négliger les effets sans en faire connaître le caractère.

5° *De l'absorption de l'électricité.* — Si l'on peut admettre l'instantanéité de la charge et de la décharge dans le cas de dissolutions salines, il n'en est plus ainsi dans le cas où le liquide est l'eau ou un liquide mauvais conducteur. La durée de la charge, la durée de la décharge, la grandeur des résidus, en fonction du temps, sont inconnues dans le cas où les liquides sont en repos. Le problème n'est pas abordable avec les connaissances actuelles dans le cas de mouvement.

6° *Conclusions.* — La définition de l'état des corps, la connaissance des modifications qu'ils subissent sont insuffisantes. Les conclusions de la discussion semblent anéantir tout espoir de parvenir à la solution du problème; mais si les variations de résistance, de force électromotrice, de différences de potentiel au contact, peuvent être regardées comme négligeables dans une première approximation, si l'effet des modifications internes peut être éliminé, le problème est ramené à la détermination de la résultante d'un ensemble de forces agissant sur un système donné, et à la recherche des relations de grandeur de ces forces avec la grandeur de la résultante. L'ensemble des résultats expérimentaux formera une base indiscutable à des théories destinées à remplacer le mécanisme qui nous échappe. L'invention d'un mécanisme fictif, équivalent dans ses effets au mécanisme réel, permettra de nouveaux progrès dans les recherches entreprises.

I. — Changements d'équilibre corrélatifs du passage des courants a travers les liquides.

1. Méthodes expérimentales. — Lois

Le défaut de précision des données, l'ignorance des relations entre les éléments du système constitué par le liquide et le solide, réduisent le problème à la recherche des modifications résultantes d'un ensemble de forces données, sur un système dont on cherche à maintenir l'invariabilité.

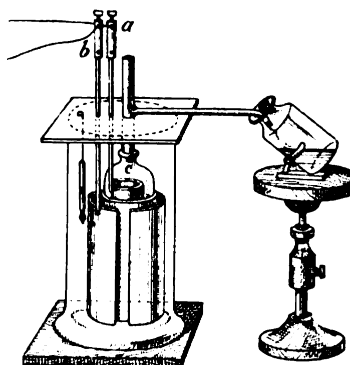


Fig. 13. — Appareil de G. Wiedemann et de Quincke.

L'énergie électrique dépensée, le travail mécanique produit seraient aujourd'hui les deux objets du problème. A l'époque où les expériences ont été faites, le principe de la conservation de l'énergie n'était pas développé. L'énergie dépensée dans le passage d'un courant, ou dans la décharge d'un condensateur, n'était pas mesurée, l'intensité des courants, la densité électrique sur l'armature d'un condensateur, la charge du condensateur étaient regardées comme les caractéristiques du courant ou de l'état du condensateur. « La notion de l'intensité du courant galvanique, dit M. G. Wiedemann, est un ensemble totalisé de plusieurs éléments fondamentaux. La remarque précédente explique le choix de l'intensité dans les expériences de M. G. Wiedermann, et dans celles qui en sont le développement, expériences de M. Saxén, expériences de M. Freund, et le choix des quantités d'électricité dans la charge du conden-

sateur, expériences de M. Quincke et expériences de M. Tereschin, pour caractériser les phénomènes électriques.

La mesure des changements de volume dans des vases larges où le liquide n'est soumis à d'autre pression que la pression atmosphérique, le déplacement du ménisque à l'intérieur de tubes capillaires ouverts, comme l'ont observé successivement MM. Quincke et Tereschin, constituent une première méthode dans laquelle le liquide peut traverser le diaphragme et que l'on peut par suite nommer méthode dynamique. Les variations du système ne sont pas évitées.

L'invariabilité du système et l'élimination du rôle inconnu du diaphragme, changement de concentration des liquides dans les diaphragmes déjà signalé par Wagenmann (*An. de Pogg.*, t. XXIV, ann. 1832, p. 600-601), cohésion. frottement, sont obtenus en maintenant les liquides dans leurs positions initiales et en empêchant le passage à travers le diaphragme à l'aide d'une pression extérieure. La méthode ainsi réalisée par M. G. Wiedemann peut être nommée méthode statique.

1. — *Méthode dynamique.*

A. — *Expériences avec diaphragmes.*

1° *Disposition des appareils.* — La forme sous laquelle M. G. Wiedemann (*Ann. de Pogg.*, t. LXXXVII, an. 1852, p. 321) et plus tard M. Quincke (*Ann. de Pogg.*, t. CXIII, an. 1861, p. 547) ont appliqué la première méthode est la suivante : Un cylindre poreux (fig. 13) surmonté d'une cloche tubulée *c* en verre, fixé à l'intérieur d'un vase cylindrique de verre, constitue le diaphragme qui sépare le récipient en deux régions. Les deux compartiments sont remplis du même liquide. Deux électrodes, l'une à l'intérieur, l'autre à l'extérieur du cylindre poreux, permettent de faire passer le courant à travers le liquide. Deux ouvertures par lesquelles passent les fils *a* et *b* reliant les électrodes à la source d'électricité sont bouchées hermétiquement dans les expériences de M. G. Wiedemann. Tout le liquide contenu dans le vase poreux est obligé de s'élever dans la tubulure de la cloche ou de s'échapper par les pores dans le vase extérieur. Un tube de déversement, adapté à la tubulure de la cloche, laisse échapper le liquide qui dépasse, dans la cloche, le niveau correspondant à la branche de déversement. M. G. Wiedemann mesure les poids de liquide, dissolution d'acide sulfurique ou sulfate de cuivre qui a traversé le diaphragme, l'effet observé est un effet résultant; la distinction n'est pas établie entre le poids d'acide ou de sel et le poids du dissolvant. M. Quincke évalue les variations de poids ou les variations de volume.

2° *Résultats :* 1° Loi des intensités. — *a.* Les deux compartiments de l'appareil étant remplis d'un même liquide, eau, dissolution de sulfate de cuivre, alcool, lorsqu'un courant galvanique traverse l'appareil, le poids ou le volume du liquide contenu dans le compartiment négatif augmente pendant le passage du courant.

2° L'excès du poids ou du volume de liquide qui se trouve, après le passage du courant, dans le compartiment négatif est directement proportionnel à l'intensité et indépendant de l'épaisseur et de la surface de la paroi poreuse (Wiedemann, *loc. cit.*, p. 348).

b. L'appareil est rempli d'essence de térébenthine, l'électricité dépensée est la décharge d'une machine électrique, la décharge d'une batterie de trois bouteilles de Leyde.

M. Quincke (*loc. cit.*, p. 561) constate une diminution de volume dans le compartiment où plongeait l'électrode reliée à l'armature négative et une augmentation dans le compartiment où plonge l'électrode positive.

Les variations de niveau de l'essence ont été presque instantanées, la durée en a été inférieure à une demi-seconde. Les variations de poids des liquides des deux compartiments ont été proportionnelles aux quantités d'électricité accumulée sur la batterie de Leyde (*loc. cit.*, p. 563).

2° *Loi des résistances.* — Becquerel avait fait remarquer (*Traité d'électricité et de magnétisme*) que l'expérience indiquée par lui ne réussit bien qu'autant que l'eau est peu conductrice.

M. G. Wiedemann (*loc. cit.*, p. 326) établit que le passage d'une même quantité d'électricité produit des variations de volume d'autant plus grandes que la résistance électrique du liquide étudié est plus grande. Les variations de volume sont plus grandes avec l'alcool absolu et l'alcool étendu qu'avec l'eau;

— plus grandes avec l'eau qu'avec les dissolutions de sulfate de potasse et de sulfate de soude;

— dans les cas de dissolutions salines, d'autant plus grandes que la proportion de sel dissous est plus faible (*loc. cit.*, p. 332);

— inappréciables avec l'acide sulfurique étendu.

Les mêmes faits sont constatés par M. Saxén avec un appareil différent basé sur le même principe (*Ann. de Wiedemann*, t. XLVII, 1887, p. 60). Le rapport de l'augmentation U de volume du liquide du compartiment négatif à l'intensité I du courant est avec des dissolutions contenant 1 et 2 p. 100 de sel :

Nom du sel dissous.	Proportion.	$\frac{U}{I}$
Sulfate de cuivre . . .	1 p. 100	0,3850
» . . .	2 »	0,2329
Sulfate de cadmium .	1/2 »	0,5823
» .	1 »	0,1157

3° *Influence du diaphragme.* — La même méthode a été appliquée par M. Quincke (*Ann. de Pogg.*, t. CXIII, 1861, p. 537) pour étudier l'effet de la nature du diaphragme.

Deux appareils semblables à ceux qu'avait employés M. G. Wiedemann furent construits aussi identiques que possible. L'un des cylindres fut platiné par immersion, en le plongeant dans une dissolution alcoolique de chlorure de platine. Les deux cylindres furent ensuite desséchés en même temps dans une même étuve. Les deux appareils furent remplis d'eau distillée de manière que les niveaux s'élevassent à la même hauteur dans les tubulures des deux cloches et abandonnés à eux-mêmes. M. Quincke constata que l'abaissement de niveau avait lieu pendant le même temps dans les deux appareils, ce qui prouvait l'égale porosité des deux cylindres.

En faisant passer à travers les deux appareils remplis d'eau le courant d'une pile de 80 éléments Grove, M. Quincke constata que l'augmentation de poids de l'eau du compartiment négatif, dans l'appareil platiné, était la moitié de l'augmentation trouvée dans l'appareil nu, et que le liquide s'élevait ou s'abaissait dans l'appareil platiné à moitié aussi vite que dans l'autre (*loc. cit.*, p. 549).

Un diaphragme formé avec du soufre pulvérisé, maintenu entre deux morceaux de soie tendue (fig. 14), fut serré entre deux

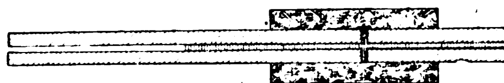


Fig. 14. — Appareil de Quincke.

tubes horizontaux remplis d'essence de térébenthine; la décharge d'une batterie de Leyde déterminait un déplacement du liquide dans la direction du courant d'électricité positive (*loc. cit.*, p. 564).

B. — *Expériences avec tubes capillaires droits.*

La constitution des diaphragmes est dans le problème actuel un sujet de complication particulier. Les effets observés sont une résultante, l'influence de la longueur, de la section, de la forme, de la nature des parois du tube, reste inconnue; la grandeur des effets n'est pas susceptible de mesure.

Les expériences suivantes de M. Quincke (*Ann. de Pogg.*, t. CXIII, 1861, p. 513) et de M. Tereschin (*Ann. de Wiedem.*, t. XXXII, 1887, p. 333) : 1° montrent que les déplacements de liquides peuvent être produits dans des tubes capillaires droits, comme ils sont produits à travers des diaphragmes; 2° établissent les relations entre les grandeurs des déplacements et les dimensions des tubes.

I. *Méthode et appareil.* — La forme très simple sous laquelle la question est traitée est la suivante : un tube droit (fig. 15) 1' de 0,459 mm 2' de 1,990 mm de diamètre, dans les expériences de M. Quincke, de 0,738 mm dans les expériences de M. Tereschin, était incliné de quelques degrés sur l'horizon, relié à l'une de ses extrémités à un ballon B servant de réservoir. On remplit l'appareil de liquide jusqu'à une petite distance de l'extrémité ouverte du tube. Une division *d* tracée sur le tube, à l'endroit où se trouve le ménisque, permet d'en déterminer la position avec un microscope (*loc. cit.*, p. 516). Deux électrodes de platine p_1 p_2 p_3 fixées sur le tube servent à établir entre deux points une différence de potentiel. Cette différence de potentiel détermine le déplacement du ménisque dans le tube, l'objet du problème est la longueur du déplacement, lorsqu'on change les conditions de l'expérience : différence de potentiel entre les électrodes, longueur, section, nature des tubes, nature des liquides.

II. *Sources d'électricité.* — Plus préoccupé de varier la source d'électricité que d'en apprécier la valeur, guidé d'ailleurs dans ce choix par les idées admises à l'époque de ses recherches, M. Quincke s'attacha surtout à varier la forme sous laquelle la différence de potentiel était établie entre les électrodes. La décharge de bouteilles de Leyde, la force électromotrice d'une pile de 80 éléments Grove, le courant d'ouverture d'une bobine d'induction, la décharge d'une machine d'électricité statique furent successivement employés.

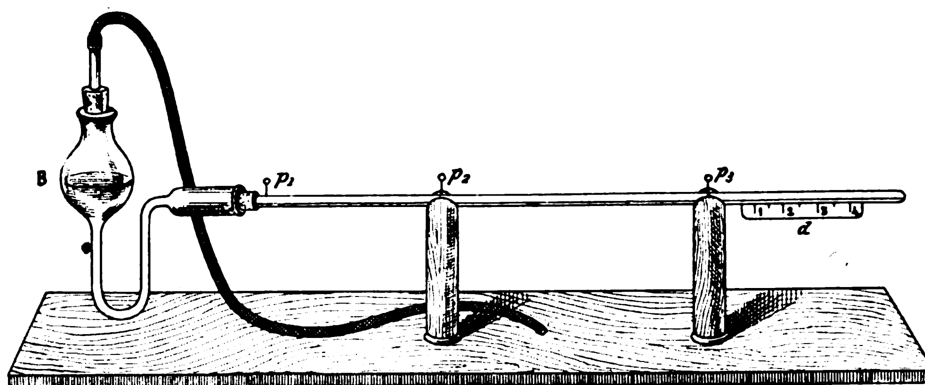


Fig. 15. — Appareil de Quincke et Tereschin.

La charge des bouteilles évaluée avec une bouteille de Lane, la densité électrique, l'intensité du courant de la pile, sont les seules quantités mesurées auxquelles M. Quincke rapporte l'amplitude des déplacements observés par lui.

L'influence du résidu dans les expériences avec les condensateurs, lorsque la décharge est produite avec un excitateur métallique, est inconnue, le résultat est seulement approximatif. M. Quincke néglige le résidu sur les condensateurs, ce qui revient à admettre que la totalité de la charge a traversé le tube, erreur dont la grandeur n'est pas calculée.

La force électromotrice est évaluée par le nombre des éléments de la pile, dans le cas où M. Quincke emploie la pile de Grove, l'unité de mesure est la force électromotrice d'un élément Grove.

Une précision bien plus grande est réalisée dans les expériences de M. Tereschin. La différence de potentiel obtenue avec une machine de Holtz dont les pôles sont maintenus à des potentiels constants par la rotation du plateau, est mesurée avec un électromètre de Righi en unités CGS, malheureusement M. Tereschin n'indique pas l'approximation de ses mesures.

III. *Liquides*. — Les liquides soumis à l'expérience sont l'eau, l'alcool, l'alcool éthylique employés successivement par M. Quincke et M. Tereschin, l'alcool méthylique, le sulfure de carbone, l'éther, l'essence de térébenthine étudiés par M. Tereschin.

Les résultats d'expériences faites avec des tubes de verre ont été les suivants :

Relation entre les potentiels et les déplacements.

En dégageant des expériences de M. Quincke les effets dus à un changement de potentiel, les autres conditions de l'expérience restant les mêmes, et en rapprochant les résultats de ceux qui ont été obtenus par M. Tereschin, on arrive aux lois suivantes :

IV. *Lois*. — 1° *Lois des quantités d'électricité : a*. Les déplacements observés sont, toutes les autres conditions restant les mêmes, proportionnels à la quantité d'électricité qui traverse le liquide. La durée, malgré de grandes différences dans l'étendue, reste à peu près la même (M. Quincke, *loc. cit.*, p. 521, expériences avec alcool et décharge de batterie de surface invariable).

b. Les déplacements sont proportionnels aux différences de potentiel maintenues entre les électrodes (expérience de M. Tereschin, *loc. cit.*, p. 335).

c. Les déplacements sont proportionnels à l'intensité du courant, lorsque la différence de potentiel est maintenue avec une pile de Grove (M. Quincke, *loc. cit.*).

2° *Loi des longueurs*. — Deux tubes de rayon à peu près égaux 1,990 mm et 1,888 mm et 230 mm de longueur, munis à leurs extrémités de fils servant d'électrodes, sont intercalés bout à bout entre le réservoir et la région divisée où on observe le ménisque. M. Quincke évalue les déplacements du ménisque, lorsque la différence de potentiel est établie : 1° entre les extrémités des deux tubes pris séparément ; 2° entre les extrémités des deux tubes réunis. Le déplacement dans le second cas est la somme des déplacements observés dans les deux premiers. M. Quincke (*loc. cit.*, p. 526) en conclut :

Les déplacements sont proportionnels à la longueur de la colonne traversée par l'électricité.

3° *Loi des sections*. — Deux séries d'expériences ont été faites par M. Quincke pour déterminer l'effet dû au changement de section des tubes. Les diamètres des tubes de section circulaire dans la première série (*loc. cit.*, p. 528 et 543) étaient compris entre 0,376 mm et 0,897 mm. Les déplacements ont été trouvés inversement proportionnels au carré du rayon du tube, pour la même force électromotrice.

La seconde série (*loc. cit.*, p. 528-530) a eu pour objet l'effet d'un changement de section et l'augmentation de la surface de frottement, en employant des tubes étroits à l'intérieur desquels étaient posées des baguettes de verre.

Le liquide se déplaçait à l'intérieur d'un canal annulaire dont les parois étaient la surface de la baguette et la surface interne du tube. Aucune relation simple n'existe entre les rayons des tubes et les déplacements du ménisque pour une force électromotrice donnée.

Les résultats sont intéressants par le rapprochement qu'il est possible d'établir entre les observations de M. Quincke et les résultats d'une théorie de von Helmholtz qui sera développée plus loin.

4° *Influence de la résistance des liquides*.— Les déplacements observés avec les différents liquides sont d'autant plus grands que la résistance du liquide est plus grande.

Toutes choses égales d'ailleurs, les déplacements, inappréciables avec le mercure, sont mesurables avec les dissolutions salines et d'autant plus grands que la proportion de sel dissous est plus faible. Les déplacements sont plus grands avec l'eau qu'avec les dissolutions salines, et plus étendus encore avec l'alcool, l'essence de térébenthine, le sulfure de carbone.

Les déplacements correspondants à des différences de potentiel mesurées ont été évaluées par M. Tereschin (*loc. cit.*) avec l'eau, l'alcool méthylique, l'alcool éthylique. Les déplacements du sulfure de carbone, de l'éther, de l'essence de térébenthine, observés dans le sens du courant positif, n'ont pas été constants en grandeur, pour une différence de potentiel déterminée.

5° *Influence de la nature du tube.* — Les déplacements, notables dans un tube recouvert intérieurement d'argent, sont plus grands dans un tube de verre, et plus grands encore dans des tubes enduits intérieurement de gomme laque.

Les formules suivantes Q et T proposées par M. Quincke (*loc. cit.*, p. 543) et M. Tereschin (*loc. cit.*, p. 334) résument les faits observés :

Dans les deux formules :

b désigne une constante ;
r » le rayon du tube ;
φ » l'angle formé par l'axe avec l'horizontale ;
l désigne le déplacement du ménisque ;
n » le nombre des éléments de pile employés, dans la formule Q.

P_ν désigne la différence de potentiel en unités CGS, dans la formule T.

$$[Q] \qquad b = \frac{1}{22{,}9} \cdot \frac{r^2}{n} \cdot l \sin \varphi$$

$$[T] \qquad b = \frac{1{,}9}{300} \cdot \frac{r^2}{P_\nu} l. \sin \varphi.$$

Dans la formule [T] la force électromotrice d'un élément Grove est admise comme égale à 1,9 volt.

La différence de potentiel aux pôles d'une pile étant proportionnelle au nombre n des éléments dont l'ensemble constitue la pile, les deux formules peuvent être mises sous la même forme :

$$\frac{r^2 l \sin \varphi}{P_\nu} = C^{te}.$$

En résumé : 1° une différence de potentiel maintenue entre deux masses de liquide en équilibre, séparées par un diaphragme, change les conditions d'équilibre des masses liquides des deux compartiments ;

2° Les poids ou les volumes de liquide qui traversent le diaphragme sont d'autant plus grands que l'intensité et la résistance électrique sont plus grandes ;

3° Le déplacement du ménisque d'un liquide isolant placé dans un tube capillaire, par la décharge de condensateur, ou par l'établissement d'une différence de potentiel entre deux points, est proportionnel à la quantité d'électricité dépensée (expériences de M. Quincke), à la différence de potentiel (expérience de M. Tereschin), ou en réunissant les deux énoncés, à l'énergie électrique dépensée.

II. — *Méthode statique.*

1° *Appareil.* — Disposition de l'appareil. Le passage d'un liquide à travers un diaphragme produit des frottements, des variations de température, des changements de concentration. M. G. Wiedemann (*Ann. Pogg.*, t. LXXXVII, p. 339), pour éliminer en même temps toutes les causes d'erreur et maintenir le liquide et le diaphragme dans leur état initial, cherche à empêcher le passage du liquide à travers le diaphragme par une pression hydrostatique appliquée sur la face de sortie.

L'appareil précédemment employé dans la méthode dynamique est, en conséquence modifié de la manière suivante : le tube de déversement (fig. 16) est relié à un manomètre à mercure m, la partie supérieure de la tubulure est hermétiquement fermée. Le liquide qui pénètre à l'intérieur du cylindre poreux passe dans la branche fermée, et détermine une variation de niveau dans le manomètre. La pression du mercure équilibre rapidement la pression du liquide qui tendait à traverser le diaphragme et sert de mesure aux forces qui paraissent l'entraîner. Tout dégagement de gaz dans l'appareil doit alors être évité, l'emploi de la méthode est limité aux dissolu-

tions salines de métaux dont on pourrait former les électrodes.

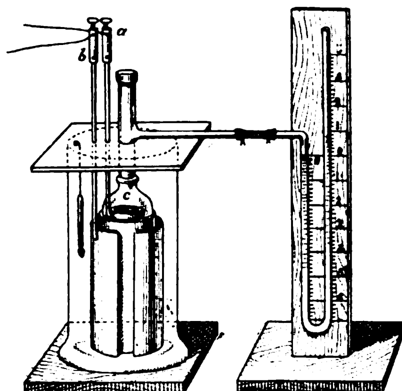


Fig. 16. — Appareil de G. Wiedemann.

M. G. Wiedemann se trouve ainsi amené à l'emploi d'électrodes impolarisables.

La recherche d'une relation entre l'intensité I du courant, la résistance ρ du liquide, la pression P nécessaire pour empêcher le passage du liquide à travers le diaphragme, devient l'objet du problème.

2° *Lois*. — Les résultats obtenus avec cinq dissolutions de sulfate de cuivre de concentrations différentes, comprises entre 48 et 16,25 p. 100, et des électrodes de cuivre ont été résumées par M. G. Wiedemann dans l'énoncé suivant :

Les hauteurs H mesurant la pression P, auxquelles s'élève le mercure dans le manomètre sont proportionnelles à l'intensité I du courant, à la résistance ρ du liquide, à l'épaisseur *e* de la paroi, et inversement proportionnelles à la surface *s* de la paroi

$$H = C^{te} \frac{I\rho e}{S}.$$

Si l'on emploie le même diaphragme dans les différentes expériences, la relation est réduite

$$H = C^{te} I\rho \text{ ou } \frac{H}{I\rho} = C^{te}.$$

Le rapport $\frac{H}{I\rho}$ est indépendant de la concentration.

Trois critiques pouvaient être adressées aux conclusions de M. G. Wiedemann :

1° Le passage du courant modifie la concentration des dissolutions qu'il traverse; la concentration finale n'est pas la même que la concentration initiale ; la conductibilité varie. 2° L'énoncé est déduit d'expériences faites avec sulfate de cuivre seul, la démonstration n'est pas générale. 3° Les expériences ont été faites à une seule température.

La première critique nécessitait la répétition des expériences avec des solutions de sulfate de cuivre ; les deux critiques suivantes motivaient des recherches avec différents sels et des solutions d'un même sel à différentes températures.

Les trois questions ont été étudiées par M. Freund (*Ann. de Wiedemann*, t. VII, en 1879, N. F, p. 44) en suivant la méthode et la disposition expérimentale de M. G. Wiedemann. Les liquides employés ont été des solutions de sulfate de cuivre, de zinc, d'azotate de cuivre et de zinc.

Des expériences préliminaires ont eu pour objet : 1° la mesure des résistances des liquides employés par la méthode de Paalzow, évaluées en unités Siemens ; 2° la construction d'un tableau des poids spécifiques des solutions correspondantes. La détermination du poids spécifique des solutions de part et d'autre du diaphragme à l'aide de la balance de Mohr permet alors de trouver facilement, à différents instants de l'expérience, la concentration de la solution.

Les résultats correspondants aux trois ordres de recherches entreprises par M. Freund sont les suivants :

1° Vérification de la loi énoncée par M. G. Wiedemann dans le cas du sulfate de cuivre. Les concentrations initiales des dissolutions du sulfate de cuivre évaluées par le poids de sel contenu dans 100 gr de solution ont été comprises entre

2,80 et 9,05

La conductibilité *k* des différentes solutions a été comprise entre :

$$119{,}48 . 10^{-8} \quad \text{et} \quad 325{,}02 . 10^{-8}.$$

Les intensités évaluées en unités de Weber ont varié entre

2,8437 et 6,5311

Les pressions observées ont été comprises entre

55,29 mm et 77,10 mm.

Dans ces limites, les différences entre les valeurs du rapport ont atteint 0,02 environ de leur valeur moyenne, différence très faible quand on la compare aux limites des données de l'expérience.

La conclusion de M. Freund est : A température constante, le quotient $\frac{Hk}{I}$ ou $\frac{H}{I\rho}$, lorsqu'on emploie des solutions de sulfate de cuivre de concentrations différentes, est constant. Le résultat de M. G. Wiedemann est vérifié.

2° Influence de la concentration. La valeur du rapport $\frac{H}{I\rho}$ trouvé avec des dissolutions d'un même sel (sulfate de zinc, azotate de cuivre, azotate de zinc) à la même température varie avec la concentration. La valeur du rapport diminue quand la proportion de sel diminue dans les expériences faites avec le sulfate de zinc et tend vers la valeur trouvée avec la dissolution de sulfate de cuivre à la même température.

Les valeurs du rapport $\frac{H}{I\rho}$ trouvées avec les dissolutions d'azotate de cuivre et de zinc tendent vers la valeur obtenue avec le sulfate de cuivre, lorsque la proportion augmente.

La loi de M. G. Wiedemann serait alors une loi limite mais qui n'est pas reliée à la constitution chimique des corps.

3° Le rapport $\frac{H}{I\rho}$ varie avec la température suivant une relation que M. Freund établit dans le cas des sulfates de cuivre et de zinc.

(*A suivre.*)

G. Gouré de Villemontée.

TRAVAUX DE LA SOCIÉTÉ ALLEMANDE D'ÉLECTROCHIMIE

CONGRÈS DE MUNICH (*Suite*) (1)

Propositions de la commission des unités

La commission déléguée par la Société présente les propositions suivantes qu'elle a adoptées à l'unanimité :

1° *Conductibilité.* — On doit exprimer la conductibilité en *ohms* et en *centimètres*. L'unité de conductibilité est celle d'un corps qui ayant la forme d'un cylindre de 1 cm² de base et de 1 cm de hauteur, possède la résistance de 1 ohm.

2° *Conductibilité moléculaire.* — La conductibilité moléculaire est la conductibilité ci-dessus définie, divisée par le nombre de molécules-grammes dissoutes dans 1 cm³.

3° La quantité d'électricité nécessaire à la séparation d'une valence-gramme, c'est-à-dire 96540 coulombs, doit être désignée en abrégé par la lettre F (en souvenir de Faraday).

La commission ne se prononce pas sur les noms à donner à la conductibilité et à la densité du courant, ni sur la fixation importante de l'électrode normale. Elle propose de provoquer sur ce sujet un échange d'opinions dans le journal de la Société, et espère que tous les milieux intéressés prendront part à la discussion.

Les membres présents de l'assemblée approuvent les propositions de la commission. Une discussion s'engage ensuite sur l'opportunité d'envoyer aux États-Unis un délégué de la Société, chargé de faire une enquête sur l'état actuel de l'électrochimie dans le Nouveau-Monde, les conditions du travail, les produits que l'on a fait entrer dans le

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 2 oct. 1897, p. 19.

domaine de l'électrochimie, le rang que cette branche importante de la chimie occupe dans l'industrie chimique en général.

Un grand nombre d'orateurs prennent part à la discussion ; on distingue avec soin le rôle de l'électrochimiste de celui de l'électrotechnicien, ce dernier ne ressortissant pas à la Société; finalement l'envoi d'un délégué électrochimiste est décidé.

Ensuite recommence la série des communications.

Sur un élément de pile a gaz carbonés

M. Borchers entretient la Société des nombreux essais qu'il a tentés depuis 1894, pour construire un élément de pile formé d'oxyde de carbone et de gaz hydrocarbonés dissous dans le chlorure cuivreux d'une part, d'oxygène ou d'air d'autre part, avec des électrodes appropriées. Nous passerons sous silence les types variés et plus ou moins compliqués qu'il a successivement modifiés et perfectionnés ([1]). Le modèle auquel il s'est arrêté actuellement, est formé d'une caisse en plomb servant de cathode et renfermant des boues Weldon (provenant de la régénération du chlorure de manganèse) ; dans cette caisse s'emboite un vase en terre poreuse qui contient une solution de chlorure cuivreux; une plaque de charbon maintenue par une tige de la même substance plonge dans cette dernière solution et constitue l'anode. Dans le compartiment anodique on fait barboter de l'oxyde de carbone, du gaz d'éclairage, du gaz des générateurs...., arrivant par un tube percé d'un grand nombre de petits trous. On peut se passer d'envoyer de l'air dans le liquide cathodique. Quand l'élément ne fournit plus de courant on enlève la cellule de terre poreuse, on ajoute une petite quantité de chaux éteinte à la boue Weldon, et en chauffant un peu on fait passer dans la masse un courant d'air énergique jusqu'à ce que le peroxyde soit régénéré.

([1]) Voir les figures dans l'original, *Zeitsch. f. Elektrochemie*, t. IV, p. 42 à 45, fig. 5 à 15.

Le tableau I contient quelques résultats. La solution anodique était formée de 80 gr de chlorure cuivreux, 100 gr de chlorhydrate d'ammoniaque, 50 gr d'acide sulfurique, le tout étendu à 500 cm^3 avec de l'eau. Le compartiment cathodique est toujours rempli de boue Weldon.

Tableau I

Résistance extérieure ohm.	Force électromotrice volt.	Intensité ampère.
100	0, 610	0,0100
90	0, 600	0,0100
80	0, 600	0,0100
70	0, 600	0,0100
60	0, 600	0,0100
50	0, 600	0,0150
40	0, 590	0,0175
30	0, 580	0,0200
20	0, 580	0,0300
10	0, 550	0,0600
5	0, 500	0, 1000
2,5	0, 400	0, 1900
1	0, 225	0, 3400
0,5	0, 070	0, 4200

Les tableaux suivants (II à V) contiennent les résultats acquis en remplaçant le chlorure cuivreux par d'autres produits qui à la vérité ne possèdent pas un pouvoir dissolvant aussi grand pour l'oxyde de carbone, mais qui jouissent aussi de la propriété de pouvoir passer à des degrés d'oxydation supérieure. Les poids des corps employés étaient équivalents à celui du chlorure cuivreux du tableau I, le volume total restant le même ainsi que la quantité d'acide. On remarquera la grande différence entre les forces électromotrices ainsi obtenues et celles du premier tableau.

Tableau II : Chlorure d'étain, $SnCl^2$

Résistance extérieure ohm.	Force électromotrice volt.	Intensité ampère.
100	0, 400	à peine appr.
50	0, 380	0,0100
25	0, 365	0,0175
20	0,350	0,0200
10	0,320	0,0350
5	0, 280	0,0600
2,5	0, 180	0,0900
0.5	0, 017	0,1700

TABLEAU III : Chlorure de manganèse, $MnCl^2$

Résistance extérieure ohm.	Force électromotrice volt.	Intensité ampère.
100	0, 175	
50	0, 170	A peine mesurable
30	0, 160	
20	0, 150	0,020
10	0, 125	0,025
5	0, 110	0,030
2,5	0, 080	0,040
0,5	0, 010	0, 100

TABLEAU IV : Sulfate de manganèse, $MnSO^4$

Résistance extérieure ohm.	Force électromotrice volt.	Intensité ampère.
100	0, 260	0,010
50	0, 250	0,012
30	0, 240	0,015
20	0, 230	0,020
10	0, 200	0,030
5	0, 170	0,040
2,5	0,090	0,050
0,5	0,008	0,080

TABLEAU V : Sulfate ferreux, $FeSO^4$

Résistance extérieure ohm.	Force électromotrice volt.	Intensité ampère.
100	0,080	
50	0,075	
25	0,070	Très faible.
20	0,070	
10	0,050	
5	0,035	

L'auteur a eu soin de s'assurer que les forces électromotrices qui résultent de l'emploi du chlorure cuivreux ne provenaient pas, par hasard, des différences de potentiel entre les électrodes. Il introduisit, par exemple, la boue Weldon dans une capsule de porcelaine, y suspendit, comme d'habitube, le vase poreux rempli de la solution oxyde de carbone-chlorure cuivreux et mesura les forces électromotrices une première fois avec deux électrodes de platine, et une autre fois avec deux électrodes de charbon ; les résultats coïncidèrent presque exactement avec ceux du tableau I.

Les forces électromotrices ne peuvent pas non plus, être attribuées à la neutralisation mutuelle de la chaux et de l'acide, bien que la basicité du liquide cathodique et l'acidité du liquide anodique soient indispensables au fonctionnement de la pile. Si l'on introduit dans la cellule poreuse des acides chlorhydrique ou sulfurique étendus et dans le vase extérieur (capsule de porcelaine) du chlorure de calcium basique, tel qu'il existe dans les boues Weldon, additionné en outre de lait de chaux, on obtient avec de grandes électrodes de platine les nombres du tableau VI :

TABLEAU VI

Résistance extérieure ohm.	Force électromotrice volt.	Intensité ampère.
100	0,0350	
50	0,0350	A peine mesurable
20	0,0340	
10	0,0340	0, 010
5	0,0325	0, 015
3	0,0310	0, 020
2,5	0,0300	0, 030
1,5	0,0260	0, 040
0,5	0,0070	0, 060

On voit que le courant de neutralisation ne peut former qu'une bien faible partie du courant total. Ce point sera tout spécialement étudié dans le laboratoire de M. Nernst à Göttingen.

Quelles sont maintenant les réactions chimiques qui ont lieu dans la pile ?

Les électrodes sont-elles bien le siège de phénomènes d'oxydation, l'oxygène ou l'ion OH cheminent-ils vers l'anode ?

Si l'on remplit la cellule de terre poreuse d'acide sulfurique étendu et le vase extérieur de la boue de superoxyde, et si l'on établit un court-circuit entre l'anode formée d'une grande lame de platine et le vase extérieur (plomb ou fer), la lame de platine se recouvre aussitôt de petites bulles d'oxygène. Ainsi l'oxygène de l'air insufflé dans le compartiment cathodique est transformé, par les combinaisons du manganèse, en ions OH, qui cheminent vers l'anode et se décomposent là en eau et oxygène. On peut ainsi, par l'intermédiaire du bioxyde de manganèse, retirer de l'air de l'oxygène pur et obtenir encore un petit supplément d'énergie sous forme

électrique, ainsi que cela résulte du tableau VII :

TABLEAU VII

Résistance extérieure ohm.	Force électromotrice volt.	Intensité ampère.
100	0,340	A peine mesurable
30	0,300	0,010
20	0,280	0,015
10	0,250	0,025
5	0,210	0,040
2,5	0,160	0,080
1,5	0,130	0,100
0,5	0,125	0,170

Le compartiment anodique est ainsi le siège d'une oxydation énergique ; en ajoutant du bromure ou de l'iodure de potassium dans l'acide sulfurique étendu de la cellule poreuse on aperçoit aussitôt une précipitation de brome ou d'iode, et l'on voit que les gaz organiques dissous dans un liquide approprié, non seulement n'augmentent pas la résistance de l'élément, mais encore agissent comme dépolarisants en accroissant la force électromotrice.

On peut se demander ce que deviennent ces gaz après la combustion. Se forme-t-il uniquement du gaz carbonique ? Pour le vérifier, on fit passer le gaz d'éclairage à travers une colonne de soude caustique, puis dans de l'eau de baryte ; le gaz, débarrassé des moindres traces d'acide carbonique, pénétrait ensuite dans le compartiment anodique, et de là dans deux nouveaux flacons remplis d'eau de baryte. Ici on ne tarda pas à apercevoir un trouble dû à la formation de carbonate de baryte, mais la masse du précipité était loin d'être en rapport avec la quantité d'oxyde de carbone du gaz d'éclairage. Cependant on ne put constater aucune oxydation de chlorure cuivreux en chlorure cuivrique.

On devait donc conclure à l'existence d'autres réactions, ce qui ne peut guère étonner si l'on songe au mélange varié de composés carbonés et d'hydrogène libre, que nous offre le gaz d'éclairage. Pour l'oxyde de carbone lui-même, il existe un second produit d'oxydation, l'*acide oxalique* dont il fut facile de déceler la présence et qui se forme suivant l'équation :



$$2\,CO^2 + 2\,OH = C^2O^4H^2.$$

Cette réaction explique pourquoi il ne se produit qu'une si petite quantité de gaz carbonique, et pourquoi l'intensité du courant est aussi faible. Elle nous fait entrevoir toute une série de réactions qui pourront présenter un haut intérêt en chimie organique, par exemple la synthèse directe d'acides carboxylés, à partir de l'acide formique, aux dépens de l'hydrogène, de l'oxyde de carbone et des carbures d'hydrogène.

Le président, M. W. OSTWALD, montre l'analogie entre l'élément de pile de M. Borchers et l'élément à gaz de Grove. Le problème consiste, en somme, à diminuer le rapport défavorable qui existe entre la grandeur de l'appareil et son effet utile ; pour arriver à ce résultat, il faut accroître la vitesse de réaction des gaz ; plus cette vitesse sera grande et plus on pourra diminuer les dimensions de la pile. M. Borchers a eu une idée heureuse en introduisant dans son élément les composés du manganèse, si faciles à oxyder et à réduire ; il a augmenté ainsi son rendement. Quant à la formation de l'acide oxalique, elle confirme ce fait, si souvent observé dans les processus chimiques, que lorsque plusieurs substances sont possibles, c'est toujours la *plus proche* qui prend naissance, quoique sa stabilité soit moindre. Ici, au lieu de l'acide carbonique stable, dont nous attendions la formation, nous avons obtenu l'acide oxalique, corps moins stable, mais plus voisin de l'oxyde de carbone dans la série des oxydations électrochimiques.

La pile de Borchers sera étudiée à fond dans le laboratoire de M. Nernst et dans celui de la grande fabrique d'Elberfeld.

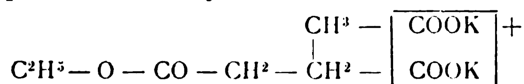
SUR LA SYNTHÈSE D'ACIDES ORGANIQUES,

Tel est le sujet de la communication faite par le professeur VON MILLER.

Dans l'électrolyse des oxyacides qui est bien connue, on a constaté qu'il ne se produisait pas de synthèses, mais que la réaction principale consistait dans l'oxydation des radicaux électrolytiques résultant du départ du gaz carbonique. Ordinairement il se forme ici des aldéhydes ou des cétones et aussi des produits qui correspondent à une combustion complète du reste électrolytique. En un mot, les restes des oxyacides sont très instables, ils n'entrent pas en réaction mutuelle, ce qu'on a d'ailleurs trouvé pour un certain nombre de radicaux analogues. L'auteur a cependant tenté de réaliser une synthèse en soumettant à l'électrolyse les sels des oxyacides non pas seuls, mais additionnés de sels d'acides gras. Dans ces conditions on pouvait s'attendre à la production synthétique d'un alcool. Et effectivement il a obtenu, quoique en petite quantité, l'alcool éthylique par l'électrolyse simultanée de glycolate et d'acétate de potassium.

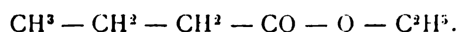
Encouragé par ces résultats, on a poursuivi l'électrolyse simultanée des sels d'acides en commençant par le mélange de sels d'acides gras avec les sels des éthers acides déjà utilisés par Crum Brown et Walker pour la synthèse des éthers dicarbonés symétriques.

Quelques remarques générales avant d'entrer dans les détails : prenons comme exemple la synthèse de l'éther butyrique. D'après ce qu'on vient de voir on doit employer un mélange d'acétate de potasse et de succinate de potasse et d'éthyle.



$$CH^3 - COOK +$$
$$C^2H^5 - O - CO - CH^2 - CH^2 - COOK$$

pour avoir



$$CH^3 - CH^2 - CH^2 - CO - O - C^2H^5.$$

Ces sels furent introduits dans le compartiment anodique de l'appareil électrolytique. Dans le compartiment cathodique on mit d'abord de l'acétate de potasse que l'on remplaça bientôt par du carbonate, quand on eut reconnu que les rendements devenaient meilleurs. On pouvait maintenir facilement la concentration du carbonate de potasse en faisant passer dans la solution un courant continu de gaz carbonique. On n'a pas encore cherché à reconnaître si le carbonate de potasse prend une part quelconque à la réaction.

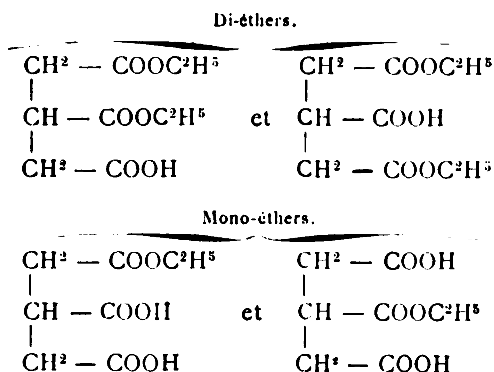
On poursuivit ces opérations avec le succinate d'éthyle et de potassium, et l'on fit aussi quelques essais avec le malonate de potassium et d'éthyle. On réussit ainsi la synthèse des éthers butyrique, valérianique, isovalérianique, caproïque, isobutylacétique. On reconnut qu'avec les éthers-sels de l'acide malonique les rendements sont bien plus mauvais qu'avec le succinate de potassium et d'éthyle. Ainsi l'électrolyse du malonate d'éthyle et de potassium mélangé à de l'acétate de potasse ne fournit que de très petites quantités d'éther propionique, tandis que l'éther-sel de l'acide succinique donna 69 p. 100 du rendement théorique en éther butyrique. De plus, dans le premier cas, l'électrolyte se colora fortement en brun ; avec le succinate au contraire, les solutions étaient à peine colorées après l'électrolyse. Il faut donc admettre que le reste de l'acide malonique résiste moins bien à l'oxydation que le reste plus stable de l'acide succinique. De même les acides gras supérieurs ne donnèrent pas de trop bons rendements à l'exception du cas de l'éther caproïque (par le succinate de potassium et d'éthyle et le butyrate de potasse). On peut cependant chaque fois séparer les éthers par la distillation fractionnée et les identifier en les transformant en les acides correspondants et leurs sels d'argent. Il est bien entendu qu'on obtint outre l'éther cherché une quantité plus ou moins grande d'hydrocarbures et des acides gras inférieurs. Remarquons encore que le rendement est le meilleur quand le rapport du poids de l'éther-sel à celui du sel de l'acide gras est 1/3 ; ce rapport ne se modifie pas notablement pendant l'électrolyse. Après l'opération ce même rapport s'élève à 1/2,6 ; c'est donc le sel de l'acide

gras qui subit relativement la plus forte décomposition.

L'acide tricarballylique parut tout indiqué pour l'étude plus approfondie de cette réaction. Il était cependant à prévoir qu'ici les difficultés seraient notablement plus grandes que pour les autres acides, d'autant plus que dans cette électrolyse le point de départ était mal connu.

On pouvait essayer d'abord l'éther tricarballylique saponifié au tiers, c'est-à-dire un di-éther dont le sel de potassium serait mélangé à l'acétate de potasse. On passerait ensuite au mono-éther.

La théorie prévoit l'existence de deux di-éthers et de deux mono-éthers tricarballyliques qui n'ont pas été préparés jusqu'à présent.

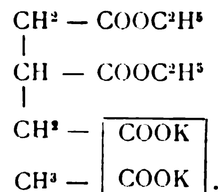


Si le travail devenait moins aisé, il n'en était que plus intéressant, puisque l'électrolyse pouvait ici élucider la constitution des di-éthers obtenus.

Le di-éther était préparé par une saponification partielle du tri-éther tricarballylique pur que l'on traitait par une molécule de potasse en solution alcoolique; un groupe éthyle devait ainsi s'échanger contre un atome de potassium. La marche de la saponification n'était pas nécessairement aussi nette, il pouvait se former également une certaine quantité de mono-éther et peut-être de l'acide tricarballylique libre.

Le produit de la saponification, débarrassé de l'excès d'alcool et amené à une concentration de 1,5/1, fut électrolysé avec de l'acétate de potasse. La marche de la réaction parut satisfaisante; il se produisit une grande quantité d'éthers; on fractionna dans le vide et on obtint les portions suivantes sous la pression de 13 mm : au-dessous de 132°, 132°-149°, 149°-255°. La fraction 132°-149° était de beaucoup la plus abondante et présentait par suite le plus d'importance ; elle fut encore une fois soumise à une distillation fractionnée sous la pression ordinaire et fournit une assez grande quantité d'un éther passant à la température constante de 225°. Ce point d'ébullition se confond avec celui de l'éther éthyl-succinique; par saponification on put préparer de l'acide éthyl-succinique pur.

La seule explication plausible de la formation de l'éther éthyl-succinique est évidemment la suivante : lors de la saponification au tiers de l'éther tricarballylique, un groupe éthyle *terminal* est remplacé par du potassium; l'éther ainsi produit réagit pendant l'électrolyse sur l'acétate de potassium, ainsi que le représente le schéma :

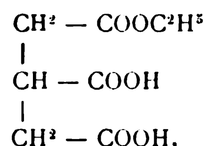


L'éther éthyl-succinique constituant la grande majorité des produits de l'électrolyse, on ne peut guère supposer que la saponification de l'éther tricarballylique ait pu s'effectuer d'une autre manière.

Quant aux fractions supérieures, ce sont sans doute des éthers d'acide à poids moléculaire élevé. Vu leur petite quantité on dut renoncer à les étudier.

La portion qui passa au-dessous de 132° fut fractionnée à la pression ordinaire; de la partie comprise entre 130° et 150°, on put retirer un acide volatil avec la vapeur d'eau qui se trouve être de l'acide crotonique. La présence de ce corps s'explique très simplement en admettant que pendant la saponifi-

cation il se produit en même temps que le di-éther un mono-éther de la formule



le départ de deux groupes carboniques rendant compte aussitôt de la formation de l'éther crotonique :

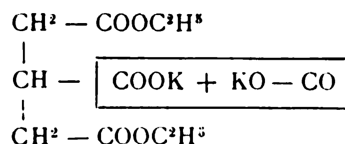


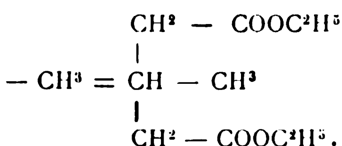
et par transposition :



L'auteur a cherché également à voir si le di-éther tricarballylique tout seul est susceptible de subir une condensation pendant l'électrolyse. Mais on n'obtint aucune trace d'un éther nouveau. Au contraire le liquide à l'anode acquit une réaction fortement acide par suite de la régénération de l'éther acide, et la couleur devint brun foncé, indiquant ainsi une oxydation due à l'oxygène électrolytique. Il ne s'était donc produit aucune synthèse. Mais en ajoutant de l'acétate de potasse à la liqueur anodique on put constater aussitôt la formation d'une grande quantité d'éther éthyl-succinique.

Lors de la préparation du tri-éther tricarballylique, on obtint secondairement un éther acide qui se trouva être un mélange d'un di-éther et d'un mono-éther. Il aurait pu se faire que ce di-éther possédât une autre constitution que celui provenant de la saponification. L'électrolyse de son sel de potassium en présence d'acétate de potasse permettait de résoudre la question d'une façon simple, puisque dans le cas d'un di-éther symétrique, on devait s'attendre à la production d'éther méthyl-glutarique :

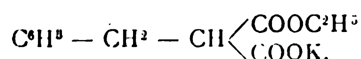




On n'obtint que de l'éther éthyl-succinique; le di-éther en question n'était par conséquent que le di-éther tricarballylique dissymétrique.

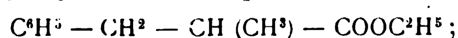
Sans insister davantage on voit que par l'électrolyse de mélanges convenablement choisis, on pourra, dans certaines conditions, fixer la constitution des acides organiques.

Ainsi le di-éther de l'acide tricarballylique, soumis seul à l'électrolyse, ne subit pas de condensation; le mélange avec l'acétate de potasse est nécessaire pour effectuer la réaction. En partant de ce fait, ne serait-il pas possible de réaliser des synthèses avec les acides aromatiques, qui, d'après les recherches de Crum Brown et de Walker, ne sont pas susceptibles de condensation? Des essais préliminaires montrèrent d'abord qu'effectivement le benzylmalonate de potassium et d'éthyle

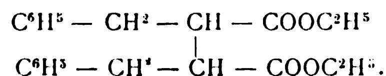


électrolysé seul ne fournit nulle trace d'éther.

L'électrolyse fut effectuée ensuite en présence d'acétate de potasse; on vit aussitôt, selon les prévisions, se former de grandes quantités d'éthers. En cherchant à séparer ces produits, on rencontra d'abord le corps auquel on s'attendait, c'est-à-dire l'éther α-méthyl-hydro-cinnamique

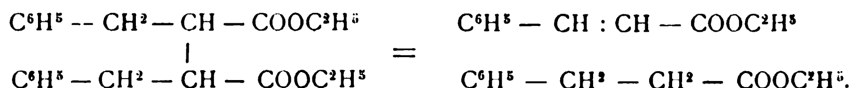


mais on constata aussi avec surprise l'existence du produit de condensation de Brown, à savoir l'éther dibenzyl-succinique



Ainsi la présence de l'acétate de potasse avait favorisé la formation de cet éther dicarbonique symétrique qui ne semble pas pouvoir prendre naissance dans l'électrolyse directe.

On trouva, bien entendu, à côté de ces substances principales, des produits secondaires qui en dérivent immédiatement, les éthers cinnamique et hydrocinnamique :



$$\begin{array}{c} C^6H^5 - CH^2 - CH - COOC^2H^5 \\ | \\ C^6H^5 - CH^2 - CH - COOC^2H^5 \end{array} = \begin{array}{c} C^6H^5 - CH : CH - COOC^2H^5 \\ \\ C^6H^5 - CH^2 - CH^2 - COOC^2H^5. \end{array}$$

Pour terminer, il s'agirait de décider, en faisant les expériences sur une échelle plus grande, si dans cette réaction on obtient aussi les deux stéréo-isomères encore inconnus de l'acide dibenzyl-succinique, comme c'est le cas lors de l'électrolyse de l'éther-sel de l'acide méthyl-malonique.

SUR LA MIGRATION ÉLECTRIQUE DES COLLOÏDES

A propos du transport électrique des liquides colorés, l'auteur, M. Cœhn, se pose la question suivante :

Dans quelles conditions une substance libre de se mouvoir suit-elle la direction du courant électrique ? — Réponse : elle se meut vers l'une ou l'autre électrode si elle possède elle-même une charge électrique.

Or, en admettant la doctrine de la dissociation électrolytique, c'est là précisément le cas des ions dans la solution d'un électrolyte. On connaît l'expérience démonstrative de M. Nernst : dans un tube en U on a superposé une solution de permanganate de potasse et une solution de salpêtre, la liqueur colorée occupant la partie inférieure du tube ; les deux électrodes plongent dans la liqueur claire ; quand le courant passe on voit la solution de permanganate se diriger en bloc vers l'anode. C'est là un phénomène de migration d'ions ; en réalité ce n'est pas la molécule $KMnO^4$ totale qui se déplace, mais seulement ses ions ; l'ion coloré MnO^4 tendant vers l'anode, l'ion métallique *k* (incolore) descendant le courant.

Un exemple analogue nous est fourni par un non-électrolyte, l'eau distillée. Prenons le même tube en U que l'on sépare en deux parties égales par un diaphragme en terre poreuse ; on voit bientôt l'eau se diriger vers l'électrode négative. D'après Helmholtz il se forme une couche électrique entre les deux substances hétérogènes, eau et verre (eau et terre poreuse). Quand on plonge une électrode dans le liquide, celle-ci attire ou repousse la partie de la couche double qui correspond au liquide (suivant qu'elle est positive ou négative), et par suite du frottement entraîne les portions voisines du liquide. Si maintenant le tube est étroit (ou capillaire, comme à l'intérieur du diaphragme poreux), tout le liquide suit le mouvement. Or Faraday a prouvé que l'eau se charge positivement vis-à-vis toutes les autres substances ; il en résulte que ce liquide doit toujours se diriger vers la cathode, ce que G. Wiedemann et Quincke ont montré depuis longtemps. Un non-électrolyte qui se chargerait négativement au contact du verre devrait se mouvoir en sens contraire, vers l'anode ; ce cas est réalisé par l'essence de térébenthine.

Ainsi le liquide se charge dans un sens et les parois solides des capillaires se chargent en sens contraire ; si ces parois étaient mobiles, elles marcheraient en sens inverse du liquide. Ces conditions sont remplies lorsque des particules solides se trouvent en suspension dans un liquide mauvais conducteur. L'eau se chargeant positivement, les particules (avec leur charge négative) vont se diriger vers l'anode. Dans l'essence de térébenthine les particules en suspension chemineraient en général vers la cathode.

Quittons maintenant les substances cristalloïdes, dissociées ou non dissociées, et tournons-nous vers les colloïdes, corps qui constituent, suivant l'expression de Graham, un autre monde de la matière.

Les colloïdes sont reconnaissables à divers caractères :

1° Poids moléculaire élevé ;

2° Diffusion lente ;

3° Impossibilité de traverser des membranes colloïdales.

L'auteur s'est proposé de rechercher (en commun avec M. von Euler) comment se comportent les colloïdes sous l'action du courant électrique. Ainsi qu'il arrive quelquefois, l'industrie a précédé la science sur ce terrain; il est un cas où elle emploie avec succès l'entraînement électrique des colloïdes (tannage électrique).

Les colloïdes tels que le tannin, le caramel, l'amidon, se mettent nettement en mouvement sous l'action du courant; ils se dirigent tous trois vers l'anode (l'auteur montre une expérience qu'il effectue avec du caramel dans un tube en U).

D'après Rœver, la quantité de tannin susceptible d'être entraîné à travers les pores du cuir par l'électricité est notablement plus grande, pour une même dépense de travail, que celle que l'on peut faire passer à l'aide de la pression hydrostatique.

Parmi les substances colloïdes étudiées par les auteurs se trouve l'amidon dissous qui chemine vers l'anode ; on peut rendre le phénomène visible en ajoutant une solution étendue d'iode jusqu'à coloration bleue. On pourrait craindre qu'on n'ait pas affaire ici à un véritable transport de colloïde, puisque, d'après les recherches de Küster, l'iodure d'amidon n'a pas une composition fixe ; ce seraient simplement les ions *iode* qui voyageraient à travers la solution en colorant l'amidon tranche par tranche. L'expérience montre qu'il n'en est pas ainsi : si l'iode cheminait seul, rien ne serait changé du côté de la cathode, tout se passerait là comme si l'iodure d'amidon était entraîné tout entier ; vers l'anode, au contraire, l'iode devrait sortir de la couche bleue, laquelle étant immobile resterait en arrière. Or, la couche bleue s'avance en bloc du côté de l'anode.

La migration de substances colloïdales vers l'anode peut être considérée comme analogue à celle des particules en suspension. D'après cela, les colloïdes, au contact de l'eau, qui prend toujours une charge positive, se chargeraient négativement et chemineraient vers l'anode ainsi que des particules suspendues. Il ne faudrait cependant pas encore en conclure que les colloïdes sont constitués par des corpuscules en suspension ; l'existence d'un pouvoir diffusif, d'une pression osmotique, etc., est contraire à cette conception ; — de nouvelles expériences seules permettront de résoudre la question.

Outre les colloïdes non électrolytes, on en connaît qui sont peut-être susceptibles de dissociation ; ce sont ceux formés d'hydroxydes métalliques. Il faut observer à ce propos que jusqu'à présent on ne les a jamais obtenus à l'état de complète pureté. Par exemple, si l'on prépare l'hydroxyde ferrique au moyen du chlorure ou de l'acétate ferrique, la dialyse ne permet pas d'enlever entièrement le chlore ou l'acide acétique. Aussi les valeurs des poids moléculaires que Sabaneïef a déduits de l'abaissement du point de congélation sont-elles incontestablement trop basses.

Pour purifier ces corps, les auteurs ont appelé à leur aide l'électrolyse. L'hydroxyde ferrique est débarrassé autant que possible du chlore par la dialyse et maintenu constamment sous une couche d'eau distillée ; pour fixer tout le chlore, on se sert d'une anode en argent qui plonge dans un tube de verre fermé à la partie inférieure par du papier parchemin, de façon à retenir les parcelles de chlorure d'argent qui se détacheraient de l'électrode. Au bout d'un certain temps, on lave le tube, on renouvelle l'électrode d'argent, etc. ; en un mot, on recommence l'opération jusqu'à ce que la conductibilité du liquide ne subisse plus de diminution, ou que toute réaction chlorée ait disparu.

S'il n'existait maintenant dans la liqueur que des molécules d'hydroxyde ferrique colloïdal, toute la partie colorée du tube en U devrait, sous l'influence du courant, se diriger vers l'anode. Au lieu de cela, on observe dans tous les cas une marche en sens inverse ; la couche sombre s'éloigne de l'anode avec

une certaine vitesse et une couche plus claire se rapproche de la cathode avec une vitesse plus grande. On pourrait supposer qu'on est en présence d'un équilibre entre des molécules de colloïdes, des molécules plus petites de cristalloïdes et les ions de ces dernières; la couche colorée qui se rend vers la cathode serait alors formée d'ions fer. Pour vérifier l'exactitude de cette hypothèse, il suffit d'effectuer un essai très simple : si ce sont des ions fer qui cheminent, ils traverseront une membrane de papier parchemin; si, au contraire, ce sont des particules colloïdales, elles seront retenues. L'expérience montre indubitablement que la couche colorée ne traverse pas la membrane.

En résumé, les colloïdes se transportent, comme les particules en suspension, dans le sens du courant négatif; les colloïdes, qui, d'après leur composition, pourraient être dissociés, ont une allure différente; chez ces derniers, la portion qui chemine n'est pas composée par les ions d'un cristalloïde qui existerait en minime quantité, mais elle est également de nature colloïdale.

Les auteurs se proposent de continuer leur travail en étudiant la diffusion des colloïdes et l'état stationnaire qui résultera de l'arrêt de la diffusion par une force électrique contraire.

(*A suivre.*)

P. Th. Muller.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Appareils Miller pour la production des courants de Tesla [1].

M. Leslie Bradley Miller s'est attaché à rassembler les diverses parties d'un appareil Tesla en un tout compact, facilement transportable, suffisamment solide et robuste pour pouvoir être mis sans inconvénient entre des mains inexpérimentées; un tel appareil peut rendre des services pour actionner les tubes à vide et les ozoniseurs, essayer les câbles, et pour les applications thérapeutiques. Il comprend un premier transformateur destiné à élever suffisamment le potentiel d'un courant alternatif fourni par un réseau d'éclairage. Le primaire P (fig. 1) de ce transformateur est enroulé sur la branche supérieure d'un cadre en fer lamellé C; il est formé de plusieurs sections, de manière à pouvoir facilement changer le rapport de transformation. Le secondaire S est constitué par deux bobines enroulées sur la branche inférieure du cadre; ces bobines sont plongées dans de l'huile dont le niveau AB est situé au-dessous de l'enroulement primaire, de manière à permettre un refroidissement de cet enroulement plus énergique que s'il était plongé dans l'huile. Ce transformateur peut remplacer la bobine de Ruhmkorff dans de nombreuses expériences.

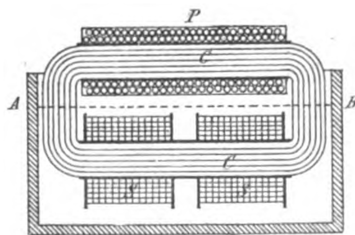


Fig. 1.

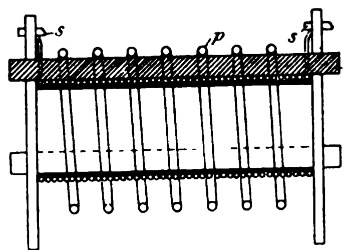


Fig. 2.

(1) Brevet anglais, n° 12859, déposé le 11 juin 1896, accepté le 5 juin 1897.

Entre les bornes du secondaire de ce transformateur sont placés en dérivation un condensateur *c*, et en série le primaire *p* d'un transformateur Tesla et un interrupteur à étincelles (fig. 2 et 3). Le secondaire *s* du

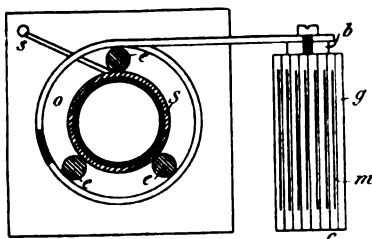


Fig. 3.

transformateur Tesla est formé par l'enroulement sur un cylindre d'ébonite d'un fil métallique recouvert de coton, cette garniture de coton n'ayant d'ailleurs d'autre but que de maintenir les fils à une distance convenable, l'isolement étant assuré par l'huile. Sur ce secondaire sont placées plusieurs tiges d'ébonite *c* munies d'encoches destinées à maintenir en place les spires du circuit primaire *p*. Le condensateur est formé de feuilles d'étain *g* séparées par des lames de verre. Il est plongé verticalement dans l'huile, de façon à éviter la présence de bulles d'air sur les armatures.

La figure 4 représente l'ensemble de l'appareil. Au premier plan on voit le premier transformateur. Sur les parois de la cuve du second plan contenant le transformateur Tesla et le condensateur, sont fixés les supports de l'interrupteur à étincelles I et des pôles P' du secondaire de Tesla. J. B.

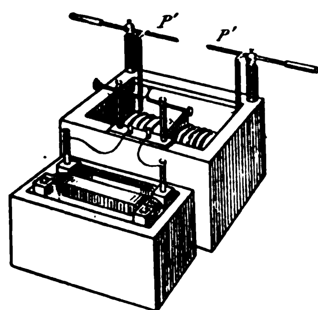


Fig. 4.

Bobines d'induction A. Apps (¹).

Dans les bobines de Ruhmkorff ordinaires le cylindre isolant qui sépare les enroulements primaire et secondaire, ainsi que les disques qui séparent les divers tronçons de l'enroulement secondaire dans les bobines cloisonnées, se trouvent soumis à des efforts mécaniques considérables de la part de ces enroulements, quand les fils de ceux-ci se contractent ou se dilatent sous l'influence des variations de température. La résistance d'isolement des diélectriques se trouvant considérablement diminuée par la traction et la compression, il peut donc résulter du mode de construction actuel des bobines une diminution importante de l'isolation des circuits. De plus, ce mode de construction offre l'inconvénient de ne pas permettre le remplacement d'un cylindre ou d'un disque isolant détérioré sans dérouler presque entièrement la bobine. C'est à l'un et l'autre inconvénient que s'est proposé de remédier M. Alfred Apps, constructeur à Londres, dans le modèle de bobine qui fait l'objet du brevet.

La figure 1 représente la coupe longitudinale de la bobine. A est le circuit primaire

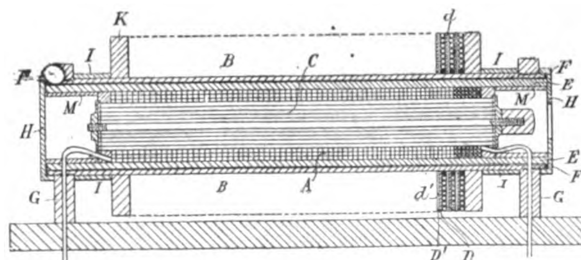


Fig. 1.

nale de la bobine. A est le circuit primaire enroulé sur une monture cylindrique dans laquelle est maintenu, par deux disques latéraux et un bouton central, un faisceau de tiges de fer C. En B est le circuit secondaire enroulé sur une monture cylindrique F, ajourée ou non, très résistante et supportant sans déformation les efforts mécaniques résultant des dilatations et contractions du circuit

(¹) Brevet anglais, nº 14 848, déposé le 4 juillet 1896, accepté le 3 juillet 1897.

secondaire ; cette monture est fixée dans deux anneaux soutenus par les supports G ; deux viroles I servent à maintenir l'enroulement secondaire dans une position fixe par rapport à la monture. A l'intérieur de cette monture se trouve le cylindre F assurant l'isolement des circuits primaire et secondaire ; il est protégé des efforts mécaniques provenant de ce dernier circuit par la monture ; il pourrait être protégé de ceux provenant du circuit primaire par une monture cylindrique disposée intérieurement, mais cette monture est généralement inutile. L'enroulement primaire est maintenu dans une position fixe à l'intérieur de F au moyen de deux petits tubes M et deux bouchons à vis H.

Les cloisons isolantes séparant les divers tronçons du circuit secondaire d'une bobine cloisonnée peuvent être soustraits aux efforts mécaniques d'une manière analogue ; de chaque côté de ces cloisons et séparées de celles-ci par des ressorts ou des cales en substance élastique, se trouvent d'autres rondelles qui supportent seules les efforts.

Pour pouvoir facilement remplacer ces cloisons, M. Apps les forme de deux anneaux D et D' munis d'échancrures *d* et *d'* (fig. 2

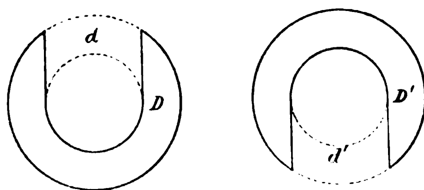


Fig. 2 et 3.

et 3) ; ces deux anneaux sont placés de manière que l'échancrure de l'un corresponde à la partie pleine de l'autre.

L'enroulement primaire et le cylindre isolant E peuvent également être retirés avec facilité ; il suffit de dévisser les bouchons H, de tirer les extrémités du fil hors des canaux des supports G et de faire glisser la bobine A et le cylindre isolant. On peut d'ailleurs fendre ce dernier longitudinalement de manière à permettre de le retirer sans toucher aux extrémités du fil primaire, qui passent dans la fente du cylindre ; mais alors il faut, pour assurer l'isolement, employer deux cylindres semblables, et, après les avoir insérés, les faire tourner l'un par rapport à l'autre de façon que les deux fentes ne se trouvent plus en regard. J. B.

Indicateur d'appels pour ascenseurs ;

Par Benner et Opdyke [1].

Les grands bâtiments américains, hauts de 15 ou 20 étages, sont de véritables villes ; on peut se rendre compte de leur importance par un seul fait : le service d'éclairage du Bowling Green Building, à New-York, ne comprend pas moins de 6 000 lampes à incandescence de 16 bougies, dont la canalisation a nécessité l'emploi de 76 km de conducteurs sous plombs qui sont en outre protégés par des tubes de fer dont le développement atteint 24 km environ. Qu'à cela on ajoute les câbles pour le service téléphonique, les appels des commissionnaires, les avertisseurs d'incendie, les avertisseurs d'effractions, les contrôleurs de rondes, les horloges électriques, etc., et l'on se rendra compte de l'importance que l'électricité a prise dans la vie américaine.

Bowling Green Building a 16 étages ; il s'élève à 72 m environ au-dessus du sol et descend à environ 20 m sous la terre ; il occupe une superficie presque carrée de 60 m de côté. Les ascenseurs y sont donc indispensables. Ils sont au nombre de huit ; les uns sont destinés au service rapide : ils ne s'arrêtent pas à tous les étages ; les autres sont omnibus : ils s'arrêtent à tous les étages où des voyageurs désirent soit monter soit descendre. Ce sont des ascenseurs hydrauliques Otis ; la cabine est fixée à un câble qui s'enroule en haut et en bas sur des poulies qu'un moteur hydraulique fait tourner dans un sens ou dans l'autre, à volonté. Un employé reste à demeure dans la cabine de chaque

(1) *The Electrical World*. 17 juillet 1897, p. 71.

ascenseur, et c'est lui qui, par la manœuvre d'une corde, provoque la mise en marche ou l'arrêt, la montée ou la descente. Pendant les heures d'activité, ces ascenseurs vont et viennent continuellement depuis le rez-de-chaussée jusqu'au dernier étage, prenant et laissant des voyageurs, tout comme des omnibus. Pour prévenir l'employé qu'il doit arrêter pour prendre des voyageurs, on a disposé, à chaque étage, deux boutons; l'un d'eux est marqué « up » et l'autre « down »; on appuie sur le premier lorsqu'on désire monter et sur le second lorsqu'on veut descendre. Lorsqu'on a appuyé sur un de ces boutons, un enclenchement électro-magnétique le maintient abaissé jusqu'au moment où la cage d'un des ascenseurs s'approche dans la direction voulue, à une distance égale à environ les 7/8 de la hauteur d'un étage. A ce moment, un signal acoustique est produit dans la cabine et le bouton est libéré.

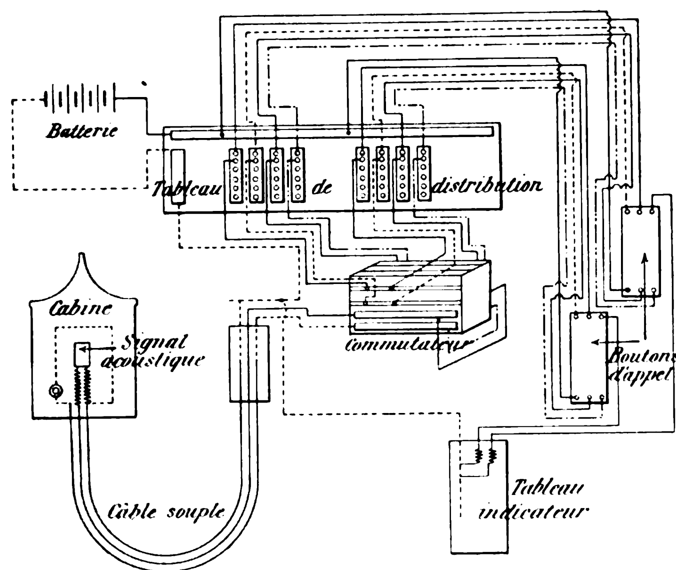


Fig. 1.

L'organe essentiel de cet indicateur est un commutateur placé dans le sous-sol; il est commandé par la poulie d'entraînement du câble de la façon suivante : une tige filetée est rendue solidaire de cette poulie par une roue d'angle; elle tourne donc dans un sens ou dans l'autre, suivant que la cabine monte ou descend; elle est munie d'un écrou ou curseur qui se meut sur elle lorsqu'elle tourne et qui est muni d'un bras servant à établir les contacts électriques. Deux plaques isolantes sont fixées près de cette vis, une de chaque côté; chacune d'elles est munie de contacts métalliques qu sont reliés d'une part aux boutons d'appel par l'intermédiaire d'un tableau de distribution, et d'autre part au signal acoustique placé dans la cabine de l'ascenseur par un câble flexible. Lorsque l'ascenseur est en marche, le bras de contact monté sur le curseur viendra frotter sur l'une ou l'autre plaque, suivant le sens de la rotation, et complétera le circuit des contacts fixes; lorsqu'il passera sur la rangée de contacts correspondant au bouton abaissé, le signal retentira donc dans la cabine. Chaque ascenseur est muni d'un commutateur spécial; mais il est évident qu'un seul bouton d'appel suffit par étage, puisque le tableau de distribution perme d'établir autant de dérivations qu'il y a d'ascenseurs.

En outre, un tableau indicateur est placé dans le sous-sol et avertit les mécaniciens qu'un voyageur demande un ascenseur à tel ou tel étage. Ce tableau indicateur n'est utilisé qu'en dehors des heures de trafic important, lorsque les ascenseurs sont arrêtés.

La figure 1 représente schématiquement les communications. Le troisième câble souple relié à la cabine sert à l'employé à maintenir le bouton d'appel enclenché, lorsque, la cabine étant complète, il ne peut prendre de nouveaux voyageurs et « brûle » l'étage où on l'appelle.

État actuel de l'électrochimie et de l'électrométallurgie en Russie

Par Rœstin (1).

L'industrie et le commerce ont acquis en Russie un haut degré de développement, les

(1) *Elektrochem. Zeitsch.*, t. IV, p. 124 à 128, septembre 97.

perfectionnements sont incessants, les progrès rapides et tous les efforts de la grande nation slave tendent à égaler, sinon à dépasser son puissant voisin de l'ouest.

L'électrolyse est employée principalement en Russie à la galvanoplastie et la galvanostégie, à la séparation des métaux de leurs minerais (presque exclusivement le cuivre), à la décomposition des alliages. En ce qui concerne les autres applications, telles que le blanchiment de la pâte et des tissus, le tannage électrique, la fabrication des matières colorantes on en est encore à la période des travaux de laboratoire.

La *galvanoplastie* est utilisée presque exclusivement en imprimerie pour la fabrication des planches stéréotypes. On sait en effet que la stéréotypie galvanoplastique permet, plus que toute autre méthode. la reproduction très fidèle de l'original, ainsi que des tirages plus nombreux. Depuis l'exposition de Moscou de 1882, cette branche de l'industrie a fait de grands progrès, bien que, dès cette époque on ait vu plusieurs exposants qui avaient introduit la galvanoplastie dans l'imprimerie. Il est vrai qu'à ce moment tous les travaux ressemblaient plutôt à des essais qu'à une production basée sur une expérience journalière. On ne peut parler en général de fabrication que quand on a installé dans un but déterminé des machines spéciales, c'est-à-dire dans le cas particulier des dynamos qui fournissent des courants intenses sous une faible tension (2 à 4 volts). Tant qu'on était obligé de travailler avec des éléments de pile nécessitant beaucoup de peine et créant beaucoup de difficultés, on ne pouvait évidemment pas prétendre à une production véritablement industrielle. L'avènement des transformateurs a largement contribué à étendre ce domaine. Les transformateurs à courants continus, introduits récemment en Russie sont d'une utilité extrême, principalement pour la petite industrie.

Un procédé galvanoplastique presque exclusivement employé en Russie est la *galvanoplastie au fer* qui a du reste été inventée dans ce pays. Les résultats obtenus par ce procédé sont si favorables qu'on s'en sert dans tous les cas où le nombre des tirages est très grand, par exemple égal à un million, chiffre que l'on atteint, il est vrai, rarement dans l'industrie privée. On a recours constamment à ce mode d'opérer pour la confection des billets de banque, des jeux de cartes, etc.

La fabrication des bustes et objets d'art par voie galvanoplastique est considérablement développée, bien qu'elle se borne essentiellement à la préparation de formes arrondies (ordinairement en gypse ou en guttapercha). Le premier qui entreprit la fabrication de grandes statues et de groupes fut le duc de Leuchtenberg, Maximilien; c'est dans son usine que furent créés les reliefs pour la cathédrale Isaac, le groupe de Laocoon qui excita l'admiration à l'exposition de Saint-Pétersbourg en 1889, et un grand nombre d'autres objets.

La *galvanostégie* est élevée depuis longtemps en Russie à la hauteur d'une industrie, principalement l'argenture, la dorure, le nickelage, et sur une échelle un peu moindre le cuivrage, le cobaltage..... On s'occupe surtout de l'argenture des objets en argentan, introduits en Russie vers 1860. Cette fabrication se développe rapidement dans un grand nombre de petits ateliers; l'importation des objets fabriqués de cette nature diminue d'année en année; elle est remplacée par l'importation des matières premières : tombac, argentan, métal Britannia, etc.

La dorure galvanoplastique a détrôné en Russie et presque partout la dorure au feu ; quant au nickelage on n'emploie que les procédés galvanoplastiques.

L'*étamage* galvanoplastique a une importance toute spéciale en Russie où l'on trouve dans chaque ménage de la vaisselle de fer et de cuivre.

La première usine qui s'occupa en Russie de l'*électrométallurgie du cuivre* est celle de Siemens et Halske à Kedabeg (province du

Caucase), puis vinrent Nicolaïef à Nijni-Novgorod, et récemment Rosenkranz, à Saint-Pétersbourg.

L'usine de Nijni-Novgorod, établie il y a environ sept ans, produit actuellement 15000 pouds (245700 kgr) de cuivre, environ 1 500 pouds d'étain, provenant de rognures de fer blanc, 2 500 pouds (40 950 kgr) d'antimoine, environ 1 500 pouds de céruse et 6 000 pouds (98 280 kgr) de produits accessoires. L'établissement utilise un procédé à lui pour la séparation du nickel pur en partant du ferronickel. Sa production la plus importante est celle du cuivre électrolytique au moyen du cuivre ordinaire de qualité inférieure. On emploie dans ce but 70 compartiments rangés en cascade. On ne maintient pas constante la teneur en cuivre et en acide du bain par l'addition de sulfate de cuivre ou par la dilution de la liqueur, mais à l'aide d'un procédé spécial inventé par la fabrique, qui permet en même temps de fixer l'acide superflu et d'enrichir la solution en cuivre. Le courant est ordinairement de 45 ampères par mètre carré.

Les bénéfices sont considérablement augmentés par la présence de petites quantités de *métaux précieux*. Une teneur de 0,003 p. 100 d'or suffit pour couvrir tous les frais de l'électrolyse; il en est de même dès que la teneur en argent atteint 0,1 p. 100. De pareilles quantités se rencontrent fréquemment en Russie, surtout dans les minerais du Caucase et de Werchne-Isetsk.

Outre la purification électrolytique du cuivre, l'usine Nicolaïef s'occupe encore de retirer directement le métal de son minerai et des mattes, par le procédé Marchese, qu'elle a considérablement modifié et amélioré. La majeure partie des mattes exploitées est composée de 26,6 p. 100 de cuivre, 46,2 p. 100 de fer, 13,4 p. 100 de soufre et 13,8 p. 100 d'autres produits; elles sont, comme on le voit, de qualité inférieure. Une partie des mattes est dissoute, les autres plaquettes servant d'anodes. La densité du courant n'est que de 45 ampères par mètre carré, aussi la décomposition des anodes se fait-elle lentement et d'une façon continue. Une circulation ininterrompue maintient constante la composition du bain. Au bout d'un certain temps la teneur en cuivre de la solution s'épuise et elle reste saturée de sulfate de fer (avec une petite quantité de cuivre). On introduit dans les bains des électrodes de fer. Sous l'influence du courant tout le cuivre se sépare sous la forme de poudre qui est transformée en oxyde ou en sulfate, ou bien refondue.

L'établissement Nicolaïef a entrepris également la séparation du *nickel* des ferronickels; il obtient ainsi un métal pur à 99,8 p. 100 qui est dense et tenace. Il s'occupe aussi de la récupération électrolytique de l'étain et de l'antimoine des déchets (qui renferment encore ordinairement un peu de cuivre). Enfin l'usine s'est mise à produire de la céruse par un procédé particulier qu'elle tient encore secret.

La fabrique renommée de Hermet à Saint-Pétersbourg utilise par an environ 40 000 pouds (655 200 kgr) de déchets d'*étain* pour la récupération électrolytique de ce métal.

L'usine Syrianof, à Smeïnogorodsk, traite par électrolyse du cuivre de cémentation.

L'hôtel de la Monnaie, à Saint-Pétersbourg, s'est occupé pendant quelque temps de la séparation de l'or et de l'argent; on prenait comme anodes des plaquettes composées de 75 p. 100 d'or et 25 p. 100 d'argent, obtenues par fusion. On électrolyse au sein d'une solution d'acide chlorhydrique à 25 p. 100.

L'usine Lefeschkine, à Swanof-Wosnesensk met en œuvre un procédé de *purification de l'acide acétique* dû à l'ingénieur Jérémine. Le procédé tenu également secret, serait, à en juger par les résultats, meilleur et moins coûteux que la méthode chimique.

Parmi les autres applications pratiques de l'électrolyse qui sont exploitées industriellement en Russie, il faut encore citer le *blanchiment* et la préparation de l'hydrogène.

Dans le premier cas, on utilise une liqueur

qui, sous l'action du courant électrique est susceptible de dégager du chlore et de se saturer de ce gaz; on se sert directement de cette solution pour le blanchiment de la même façon que de la solution habituelle au chlorure de chaux et à l'acide sulfurique. Stefanof prend comme électrolyse une solution de sel marin, substance peu coûteuse que la Russie produit abondamment; il y ajoute un peu de chaux caustique. Sous l'action du courant le chlore dégagé à l'anode forme de l'hypochlorite de chaux; la liqueur préparée ainsi se convertit moins facilement en chlorate et l'on arrive facilement à des titres de 1,4 à 1,6 p. 100, ce qui suffit complètement dans la pratique. L'appareil de Stefanof permet de conserver sans modification les procédés de blanchiment utilisés jusqu'à présent; on peut employer le courant des dynamos qui servent en même temps pour l'éclairage. Les cathodes sont constituées par les parois de plomb des vases où se fait l'électrolyse, les anodes sont des lames de platine. Dans les compartiments disposés en cascade, la circulation du liquide est telle qu'il passe successivement à travers toutes les cellules; en sortant de la dernière il est prêt pour le blanchiment. La solution fournie par l'appareil contient environ 6 gr de chlore actif par litre; la quantité de sel consommée correspond à peu près, comme effet utile, à son poids de chlorure de chaux.

Dans la *fabrication de l'hydrogène* par le système D.-A. Latschinof on doit mentionner le bon marché de l'installation, dû à l'emploi de métaux peu coûteux, puis la disposition spéciale des batteries qui permet de recueillir facilement les gaz dégagés.

La cellule électrolytique qui forme en même temps la cathode est en fonte; elle contient au milieu l'anode en tôle. Au-dessus du vase se trouvent des chambres pour capter les gaz mis en liberté aux électrodes, l'anode est enfermée dans une chambre spéciale en parchemin végétal tendu sur des cadres d'ébonite et fixé de telle façon que le mélange des divers gaz devient impossible. On emploie comme électrolyte une solution de soude caustique à 10-15 p. 100, protégée autant que possible contre l'accès de l'acide carbonique. Si l'on veut prendre de l'acide sulfurique à la place de la soude, il faut que les cellules soient en cuivre rouge et les anodes en charbon ou en graphite. Les bains sont disposés l'un derrière l'autre en série; avec une dynamo de 110 volts, il en faut 44, chacun d'eux exigeant environ 2,5 volts.

D'après les calculs de l'inventeur, 1 m^3 d'oxygène et 2 m^3 d'hydrogène ne reviendraient pas à plus de 80 kopeks (1,60 fr) en ne tenant pas compte de l'amortissement.

L'industrie russe ne s'occupe pas du tout, jusqu'à présent, de l'obtention de l'aluminium.

La *soudure électrique* joue un grand rôle dans l'électrométallurgie; les procédés dus aux ingénieurs russes Benardos et Slawianof se sont rapidement propagés, peu en Russie cependant où il n'y a que six fabriques qui en font usage actuellement. Nous citerons parmi elles la fabrique d'armes de Perm (système Slawianof, depuis 1891) et les ateliers du chemin de fer Orlof-Witebsk (système Benardos, depuis 1888). On répare par ce procédé des roues de locomotives, des axes, etc. Les objets restaurés ont pu être utilisés pendant des années et ne se distinguaient en rien du matériel neuf.

Si les procédés de soudure électrique sont peu employés en Russie, cela tient à ce que les connaissances électrotechniques sont encore généralement peu répandues parmi les ingénieurs russes; ce n'est que récemment que cet enseignement a été introduit dans les écoles techniques supérieures.

Il y a peu de temps, Slawianof a mis à profit de la façon la plus heureuse l'énergie calorifique du courant électrique. Lors de la fonte ordinaire des métaux, il se forme dans l'intérieur de ceux-ci de petits espaces vides; des fragments de scories, du sable restent enfermés dans le métal qui se refroidit et dont la surface est la première à se solidifier. Ces impuretés rabaissent la qualité du

produit en diminuant sa solidité. Pour éviter cet inconvénient on maintient la surface du métal à l'état liquide, de façon que la solidification puisse se faire de bas en haut, et que les matières étrangères aient ainsi le temps de s'éliminer. Parmi les nombreux systèmes imaginés dans ce but, il n'y en a qu'un à qui on ne puisse adresser de reproches, c'est le procédé de *chauffage électrique* inventé par Slawianof et appliqué dans la fabrique d'armes de Perm. On a recours à l'arc électrique; la surface du bain forme l'électrode positive, la négative est constituée par un noyau d'acier ou de charbon traversant une feuille de tôle, laquelle recouvre le moule et empêche un trop grand rayonnement de la chaleur. En opérant ainsi on arrive à fondre des masses considérables — jusqu'à 700 pouds (11 466 kgr), chose impossible avec les autres procédés. On emploie un courant de 800 ampères et 70 volts. La durée de solidification est de trois à huit heures.

Les résultats obtenus jusqu'à présent sont des plus satisfaisants. P. Th. M.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur les rayons Rœntgen;

Par A. Buguet, C. Porcher, A. de Hemptinne, V. Chabaud.

Quelques notes sur ce sujet ont été récemment présentées à l'Académie des Sciences.

M. Abel Buguet, dans son étude de l'*Absorption des rayons X* (1), a employé un dispositif analogue à celui de M. Rœntgen, dans son dernier mémoire (2). Dans une lame complètement opaque, il pratique des trous en échiquier; les trous d'une même colonne verticale sont couverts de feuilles (d'étain par exemple), en nombre 0, 1, 2, 3, etc., croissant convenablement; les trous d'une même ligne horizontale ont même opacité; chaque colonne est couverte d'une plaque opaque et mobile. L'échelle étant posée sur une plaque photographique, devant un tube de Crookes actif, il découvre successivement les colonnes de façon qu'elles reçoivent des luminations (produit de l'éclairement par le temps) croissant en progression géométrique. Au développement, il obtient des teintes qu'il identifie deux à deux, par juxtaposition, après superposition des fragments de la plaque convenablement découpée. Il a constaté ainsi que l'opacivité (opacité par unité d'épaisseur) décroît rapidement pour les couches successivement atteintes, résultat d'ailleurs obtenu par d'autres expérimentateurs.

En opérant avec des tubes de résistance croissante, il a observé que l'absorbabilité par la première couche d'étain augmente et que l'absorbabilité par les couches suivantes diminue de plus en plus rapidement.

L'auteur termine sa note par la description d'une lunette photométrique destinée à caractériser un tube. Cette lunette se compose d'un tube métallique au bout duquel est un écran fluorescent couvert, du côté de l'œil, d'épaisseurs diaphanes convenablement graduées. L'intensité du faisceau est estimée par le nombre de plages visibles à distance donnée de la source. En enlevant l'échelle diaphane et plaçant, de l'autre côté de l'écran fluorescent, une échelle formée d'une série d'épaisseurs d'aluminium, d'étain et de plomb, combinées de façon à offrir des opacités convenables pour tous les types de tubes, on transforme la lunette précédente en une lunette diaphotométrique permettant d'estimer la pénétration des rayons par le nombre de plages vues à distance donnée de la source.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 409, séance du 30 août.
(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 161, 17 juillet 1897.

M. Charles Porcher, dans sa note sur la *Photographie de l'image fluoroscopique* [1], relate les expériences qu'il a faites pour obtenir une reproduction photographique instantanée de l'image d'un objet placé entre un tube de Rœntgen et un écran fluorescent. Dans ces expériences, le tube producteur de rayons Rœntgen et l'écran étaient placés à l'intérieur d'un cabinet noir dont l'une des parois était percée d'un trou dans lequel était engagé l'objectif de l'appareil photographique; une lame de plomb épaisse entourant l'ouverture empêchait les rayons Rœntgen de parvenir jusqu'à la plaque photographique à travers les parois de la chambre noire photographique et du cabinet.

L'auteur a constaté qu'à moins de prolonger la durée de la pose jusqu'à vingt-cinq minutes, il est impossible d'obtenir un cliché net.

Il y avait lieu de penser, avant d'entreprendre ces expériences, qu'on arriverait à photographier avec pose faible, en instantané peut-être, l'image fluoroscopique, ce qui serait utile en médecine, et surtout en médecine vétérinaire, où il est souvent impossible d'obtenir une immobilité prolongée comme celle que nécessite le procédé radiographique ordinaire. Il résulte de ces expériences que l'on ne gagne rien, ni comme temps ni comme netteté, à vouloir photographier l'image formée sur un écran fluorescent.

M. A. de Hemptinne a étudié l'*action des rayons X sur la luminescence des gaz* [2]. Il a constaté qu'un tube contenant un gaz à une faible pression devient lumineux sous l'influence des rayons X à une pression beaucoup plus élevée que celle qui est nécessaire pour produire la luminescence de ce même tube sous l'influence des vibrations électriques.

L'appareil employé se compose d'un tube de verre, d'environ 80 cm de longueur, dont l'une des extrémités plonge dans du mercure et dont l'autre extrémité est soudée à un tube plus large (4 cm de diamètre), de 10 cm de long, fermé en haut par un robinet. Cette partie large est placée entre deux bandes de zinc reliées aux deux boules d'un excitateur à vis micrométrique, reliées elles-mêmes aux pôles d'un transformateur Tesla. En face de la partie large et à une distance d'environ 15 cm, est disposée une ampoule à rayons Rœntgen.

L'ampoule ne fonctionnant pas, on fait jaillir les étincelles entre les boules de l'excitateur, distantes de 0,4 cm dans le cas actuel, et, en diminuant progressivement de 0,05 cm la pression dans le tube, on cherche la pression maximum pour laquelle le gaz devient lumineux. Répétant l'expérience après avoir mis l'ampoule en fonctionnement, on observe que le gaz devient lumineux pour une pression notablement plus élevée; cet effet ne peut être dû d'ailleurs qu'à l'action des rayons X et non à des vibrations électriques produites par l'ampoule, car on observe les mêmes phénomènes lorsqu'on place entre l'ampoule et le tube à gaz un grand écran en aluminium.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus. Dans la première colonne sont indiqués les poids moléculaires des gaz; dans la seconde, la pression en millimètres de mercure à laquelle les substances deviennent luminescentes sous la simple action des vibrations électriques; dans la troisième, sous l'action de ces vibrations combinées à celle des rayons X; dans la quatrième, l'accroissement pour 100 produit par ces rayons.

Hydrogène.	2	71	94	32,4
Oxygène	32	51	68	33,3
Alcool méthylique . . .	32	17,5	27,5	57,1
Alcool éthylique	46	16,5	26	57,5
Éther.	74	14	23	64,3
Chloroforme	119	10	18	80

La seule remarque que permette ce tableau est que, pour les corps simples, l'accroissement pour 100 est sensiblement plus petit que pour les substances organiques, et que,

[1] *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 409, séance du 30 août.

[2] *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 428, séance du 6 septembre.

pour ces dernières, l'accroissement pour 100 augmente avec le poids moléculaire.

M. V. Chabaud a montré que *le voile photographique en radiographie*(1), attribué soit à la fluorescence de la plaque et des objets qui l'entourent, soit à une diffusion des rayons X, soit encore à l'une et l'autre cause, est dans bien des cas principalement dû à un phénomène qu'il a observé en photographiant, par le procédé de la chambre noire, un tube à anticathode aux différentes phases de son existence. Les images photographiques ainsi obtenues indiquent qu'un tube neuf n'a qu'un seul foyer, celui que forme le jet cathodique en frappant l'anticathode; mais que, dès que le tube a acquis par l'usage une résistance suffisante, il se forme un second foyer en face de l'anticathode, sur la paroi du tube. En agissant simultanément, ces deux foyers rendent les images peu nettes.

L'auteur attribue la formation du second foyer aux courants alternatifs fournis par la bobine de Ruhmkorff servant à actionner le tube. Il a en effet observé qu'en renversant le sens des courants le tube possède encore ces deux foyers. D'autre part, il a vérifié que le phénomène ne se produit que pour une résistance déterminée du tube, en disposant à la même distance de part et d'autre de celui-ci deux écrans au platinocyanure de baryum, l'un en face de la lame anticathodique, l'autre du côté opposé : l'écran placé devant la lame devient lumineux bien avant l'autre.

M. Chabaud conclut ainsi : 1° A partir d'une résistance déterminée, les deux électrodes du tube envoient alternativement des rayons cathodiques, par suite créent deux foyers; 2° A partir de cette même résistance, le tube émet de ces rayons X dans tous les sens; en effet, ceux des rayons qui prennent naissance sur le second foyer ne rencontrent aucun obstacle dans le tube et se propagent dans toutes les directions; 3° Un tube dur exigera des poses moins longues qu'un tube mou, mais donnera des clichés beaucoup plus voilés et moins nets que les clichés fournis par ce dernier; 4° Un tube volumineux et à grandes électrodes donnera sur l'écran une luminosité plus grande qu'un tube de petites dimensions et à petites électrodes, mais le premier fournira une image moins nette que le second.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 497, séance du 4 octobre.

La déviation magnétique des rayons cathodiques et des rayons X ;

Par G. de Metz (1).

On se souvient que dans une précédente note (2), l'auteur exposait les expériences qu'il a entreprises pour mettre en évidence la déviation magnétique des rayons X. Dans ces expériences, les rayons X engendrés sur la paroi anticathodique d'une ampoule de Crookes à cathode plane, se propageaient dans un long tube de verre collé à cette paroi et où l'on pouvait faire le vide; un cylindre d'aluminium intérieur au tube protégeait ces rayons contre l'action des charges électriques des parois de l'ampoule; un écran fluorescent placé à l'extrémité de ce cylindre recevait les rayons; dans ces conditions, l'auteur observa, par le déplacement de la tache lumineuse de l'écran, que ces rayons étaient sensibles au champ magnétique d'un aimant.

Dans les nouvelles expériences, le tube de verre où l'on fait le vide n'est plus collé à l'ampoule; il en est éloigné d'environ un centimètre, une distance plus grande ayant l'inconvénient de trop diminuer l'intensité de la tache fluorescente. Cette tache est encore déviée par l'aimant, toujours à condition que l'air soit raréfié dans le tube, au moins jusqu'à 0,4 mm; la seule différence avec les phénomènes observés antérieurement est que la

(1) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 426, séance du 6 septembre.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 183, 17 juillet 1897.

tache reste toujours diffuse, même quand le vide est poussé jusqu'à 0,006 mm.

Pour s'assurer que ce sont bien les rayons X qui produisent le phénomène, l'auteur a eu recours à leurs qualités radiographiques. Une plaque sensible est placée à l'intérieur d'une boîte d'aluminium, placée elle-même dans un fort cylindre métallique avec une fenêtre couverte d'aluminium, afin de donner un facile accès aux rayons X ; le tout est relié au sol et à une pompe à mercure. Ayant poussé le vide dans le cylindre jusqu'à 0,006 mm et installé une ampoule de Crookes vis-à-vis de sa fenêtre, à une distance de 4 m, M. de Metz a obtenu, en vingt minutes, un excellent cliché radiographique.

M. de Metz signale la particularité suivante qu'il a observée dans ces expériences : quand le couvercle en aluminium du tube de verre qui sert d'entrée aux rayons X, est mis en communication avec le sol, l'écran au platinocyanure cesse d'être lumineux, bien que, dans la seconde expérience, cette communication avec le sol n'empêche pas la formation de l'image radiographique. Il explique ces résultats par la grande sensibilité de la plaque photographique, qui permet à celle-ci d'être impressionnée alors que la fluorescence de l'écran cesse d'être visible par suite de l'extinction partielle du faisceau.

A ce propos, l'auteur signale un fait qu'il a toujours observé dans les nombreuses expériences qu'il a faites à l'intérieur des tubes à décharge avec les rayons cathodiques, interceptés complètement dans leur passage par des plaques conductrices ou non conductrices (graphite, aluminium, laiton, carton, caoutchouc) avant d'atteindre l'écran luminescent : il y a illumination de l'écran sous l'action des rayons cathodiques si les plaques interceptrices n'ont pas été reliées au sol, extinction si ces plaques sont, d'une manière ou d'une autre, protégées contre les charges.

Sur la séparation électrolytique du nickel et du cobalt d'avec le fer. Application au dosage du nickel dans les aciers;

Par O. Ducru [1].

La méthode préconisée par l'auteur repose sur la remarque suivante : si l'on précipite par l'ammoniaque en excès une solution ferrique contenant, par exemple, du nickel, une partie de ce métal reste en dissolution, tandis qu'une proportion notable, s'élevant à 27 p. 100 pour le nickel et à 48 p. 100 pour le cobalt, est entraînée par l'hydrate ferrique ; mais si l'on soumet à l'électrolyse la liqueur ammoniacale tenant en suspension le précipité, on peut obtenir sur la cathode le dépôt intégral du nickel, mélangé d'une très petite quantité de fer (1 ou 2 mm pour une quantité de fer en présence atteignant 400 ou 500 mm) et dont il est facile de connaître la valeur en dissolvant dans l'acide chlorhydrique, peroxydant et précipitant par l'ammoniaque.

L'opération se fait comme il suit : la solution contenant le nickel et le fer au maximum, additionnée, s'il y a lieu, d'un léger excès d'acide sulfurique, est évaporée à sec. On reprend par le moins d'eau possible, on ajoute 5 à 10 gr de sulfate d'ammoniaque, et l'on chauffe jusqu'à l'obtention d'une liqueur limpide. Cette liqueur est versée, en agitant, dans le creuset de l'appareil de M. Riche, dans lequel on a placé 60 à 70 cm^3 d'ammoniaque concentrée. On procède alors à l'électrolyse.

On emploie, comme source d'électricité, deux ou trois accumulateurs montés en tension, de manière à régler entre 1,5 et 2,5 ampères l'intensité du courant de début, soit 25 à 45 milliampères environ par cm^2 pour la surface utile de la cathode, en supposant, comme première approximation, la densité du courant uniforme. Dans ces conditions, en moins de quatre heures le nickel est entièrement déposé.

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 436, séance du 13 septembre.

Le même procédé s'applique au cobalt.

Pour doser le nickel dans les aciers, on attaque 250 à 300 mm par l'eau régale, dans une capsule de porcelaine. L'attaque terminée on ajoute 1 cm^3 d'acide sulfurique et l'on évapore à production de fumées blanches. On continue comme ci-dessus.

Les essais faits par cette méthode de dosage montrent que, dans la pratique industrielle, il sera le plus souvent inutile de faire la correction nécessitée par la petite quantité de fer qui accompagne le dépôt de nickel sur la cathode. Ils montrent aussi qu'il est inutile de séparer le silicium et le carbone; les petites quantités de manganèse et de phosphore que renferment les aciers, non plus que la présence du chrome, n'empêchent pas l'emploi de la méthode, mais on retrouve à peu près constamment sur la cathode des traces de manganèse avec celles de fer.

Pour obtenir une correction exacte, on précipite à la fois les deux métaux, en ajoutant, comme l'a indiqué M. Ad. Carnot, un peu d'eau oxygénée à la solution du métal déposé, sursaturant par l'ammoniaque et portant à l'ébullition.

En terminant, l'auteur fait remarquer que, quoiqu'en minime proportion, le fer déposé sur la cathode se trouve à deux états différents. Une partie est soluble dans l'acide chlorhydrique, l'autre n'est soluble que dans l'eau régale.

Il ajoute avoir observé qu'il suffit d'une très faible proportion d'acide chromique, dans une solution ammoniacale de nickel, pour empêcher le dépôt électrolytique de ce métal, qu'il y ait ou non du fer en présence.

CORRESPONDANCE

Sur les unités magnétiques.

Paris, 28 septembre 1897.

Le très intéressant article que M. Brylinski vient de consacrer dans cette revue, à la question des unités magnétiques, et dans lequel il a fort courtoisement critiqué mes idées, me donne l'occasion d'expliquer celles-ci plus complètement, et plus nettement en opposition au système traditionnel qu'expose si élégamment M. Brylinski, et de dissiper ainsi très aisément le malentendu qui me parait exister actuellement entre nous.

Au lieu de faire du symbole $\mathfrak{B}$ une *simple lettre* mise à la place de $\mathcal{H}$, on ne sait pourquoi, et d'appeler *induction* une intensité de champ, ce qui, comme le remarque lui-même M. Brylinski, « ne signifie rien » et pour moi constitue une véritable confusion, j'appelle, en respectant le sens des mots, induction le quotient d'un flux d'induction Φ (et non d'un « flux de force ») par une surface.

Soit Φ le flux d'induction supposé uniforme, dans une barre de fer aimanté de section s; je pose donc

$$\mathfrak{B} = \frac{\Phi}{s} = K\mathcal{H},$$

et, en exprimant Φ en webers, je mesure l'induction en *webers par centimètre carré*. Cette quantité $\mathfrak{B}$, directement accessible à l'expérience par une mesure balistique, se comprend sans aucune théorie ni hypothèse. C'est celle que considèrent de fait et inconsciemment la plupart des praticiens quand ils parlent d'induction.

Puis, en appelant $\mathcal{H}$ le champ dans une substance et K le pouvoir inducteur magnétique, je définis la perméabilité par le quotient de l'induction par le champ,

$$\mu = \frac{\mathfrak{B}}{\mathcal{H}} = K,$$

La perméabilité se confond donc dans ce système avec le pouvoir inducteur, et c'est avec raison que M. Brylinski me l'a fait remarquer en observant que cette façon de voir n'est pas celle de Maxwell et Thomson.

Il est toujours très délicat de toucher à l'œuvre de ces géants de la science, et celui qui y porte la main court fort le risque de passer pour sacrilège ; aussi m'excusé-je de le faire et ne voudrais-je pas qu'on y vît de ma part le moindre signe d'irrespect ; mais il me semble que le champ peut toujours rester ouvert à une modification de l'œu-

vre des plus grands génies lorsqu'il est établi qu'elle constitue un progrès, ou tout au moins une satisfaction donnée à la logique.

Or je ne crois pas que la notion de l'intensité du champ dans une cavité infiniment mince, creusée dans le fer perpendiculairement aux lignes d'induction, présente un caractère de simplicité ni d'évidence suffisant pour servir de base à la définition de μ : je ne vois pas, d'ailleurs, d'avantage à faire intervenir cette intensité, étant donné que le flux d'induction dans une tige de fer est directement accessible par les mesures balistiques. Au contraire je vois de précieux avantages à confondre pour chaque substance μ avec K, en définissant $\mathfrak{B}$ comme je viens de le dire :

1° On respecte le principe général qui est de ne donner des noms et des symboles différents qu'à des grandeurs différentes, et d'éviter les acceptions différentes pour un même terme.

2° On simplifie beaucoup les notions générales et les notations en n'introduisant plus dans le magnétisme qu'une constante μ au lieu de deux K et μ ; l'expression $\mu\mathcal{H}$ du flux d'induction dans le nouveau système, est de celles que tout le monde est tenté d'écrire.

3° On peut ainsi faire disparaître le point faible du système électromagnétique, c'est-à-dire la convention $K = 1$ (qui fait trop souvent oublier K et trouble d'une façon si fâcheuse les équations de dimensions), en considérant la perméabilité comme une grandeur *ayant une unité spéciale à laquelle on donnera un nom*, par exemple le « œrstedt ».

Par définition, le œrstedt serait la perméabilité μ_0 du vide ou de l'air ; tel échantillon de fer aurait une perméabilité non pas de 300, comme on dit aujourd'hui, mais de *300 œrstedts*, et l'on écrirait $\mu = \mu_0 (1 + 4\pi x)$ au lieu de $\mu = (1 + 4\pi x)$. Le système ($c. g. s.$) serait ainsi plus exactement le système ($c. g. s. œ.$).

4° Enfin, au point de vue pédagogique, ces définitions sont infiniment plus faciles à comprendre pour les élèves que les anciennes.

A côté de ces avantages importants et incontestables, je ne sais s'il existe contre ce système des difficultés autres que la tradition. Encore ne faut-il pas exagérer celle-ci, puisque sir W. Thomson, comme le rappelle justement M. Brylinski, n'a pas employé le mot *induction* dans le sens que lui attribuent les ouvrages classiques.

Quant à la valeur des unités, celles de M. Brylinski me paraissent exactement établies, étant donné que l'unité de longueur cohérente avec le système pratique est le quadrant de 10^9 *c. g. s.*; mais le gauss et le supergauss ainsi obtenus sont trop peu maniables. D'autre part, je ne vois pas plus de raison de donner un nom à la chute de potentiel magnétique par unité de longueur qu'à la chute de potentiel électrique, et la logique me semble commander de l'exprimer en kelvins par unité de longueur. En opérant ainsi, on peut, sans oublier que le quadrant est l'unité cohérente de longueur, employer le kelvin par cm $= 10^{-1}$ *c. g. s*, comme unité courante au lieu du kelvin par quadrant, quitte à réintroduire le facteur 10^9 dans l'expression de la réluctance

$$1 \text{ maxwell} = \frac{1 \text{ kelvin}}{1 \text{ weber}} = 10^{-9}\, c.g.s.$$

Moyennant cette simple modification et l'acceptation du weber par centimètre carré comme unité d'induction, le système de M. Brylinski ne différerait plus de celui que j'ai proposé au Congrès de Carthage de l'Association française en mars 1896 (1), que par les noms ; mais ceux-ci importent peu en l'espèce et je ne tiens pas aux miens plus qu'à d'autres.

Tout me fait donc espérer que nous nous mettrons complètement d'accord pour défendre désormais la nécessité de compléter le système pratique d'unités dans ce sens. Comme je l'ai expliqué dans ma seconde note (2), la seule unité dont le besoin présente une réelle urgence est l'unité de flux.

Le prochain Congrès sera appelé fatalement, comme on le voit par ce qui précède, à se prononcer en même temps sur la question des définitions des grandeurs magnétiques, qu'a soulevée M. Brylinski. C'est une bonne fortune pour tous ceux que le sujet intéresse, que cette étude, si fâcheusement « enterrée » au dernier Congrès, ait été reprise par un esprit aussi distingué, et pour ma part je suis heureux d'y avoir trouvé l'occasion de préciser le système que je voudrais voir substituer au système classique, en même temps qu'un appui précieux en faveur de l'extension du système pratique, dont si peu d'électriciens semblaient jusqu'à admettre la nécessité.

A. Blondel.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 529, 20 juin 1896.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 529, 19 septembre 1896.

Paris, octobre 1897.

Nous remercions vivement M. Blondel de la forme extrêmement courtoise dans laquelle il a opposé ses idées à notre exposé. Nous avons cru devoir résumer la théorie du magnétisme en conformité des travaux de Maxwell et de Thomson, suivant ainsi la méthode historique, la seule valable tant qu'il n'y a pas un fort mouvement pour modifier les définitions classiques.

Mais les définitions proposées par M. Blondel présenteraient de tels avantages sur celles que nous avons exposées sans qu'elles nous satisfassent pleinement, comme il l'a fort bien remarqué, que nous n'hésitons pas à nous y rallier.

Nous avons terminé notre note *sur les unités magnétiques* en exprimant le vœu que la question soit reprise le plus tôt possible par une commission autorisée. Nous complétons ce vœu en demandant que cette commission, si on réussit à la constituer, commence son œuvre par la définition exacte et sans ambiguïtés des quantités magnétiques, en prenant pour bases les idées exprimées ci-dessus par M. Blondel.

En particulier l'adoption d'une unité de perméabilité aurait l'avantage, *tout en ne changeant absolument rien aux notations et aux habitudes actuellement usitées*, de rendre plus correctes les équations magnétiques et de faciliter dans une mesure considérable l'enseignement du magnétisme.

Il résultera de là un certain nombre de modifications au système d'unités magnétiques que nous avons précédemment proposé; mais sur ce point encore, les idées de M. Blondel nous paraissent devoir être utilement prises comme base.

E. Brylinski.

BIBLIOGRAPHIE

Les fours électriques et leurs applications, par Ad. Minet. Un vol. de l'Encyclopédie des Aide-Mémoire. *Gauthier-Villars et fils* et *Masson et Cie*, éditeurs.

Cet ouvrage forme la quatrième partie du travail sur l'électrochimie que se propose de publier l'auteur dans la collection des Aide-Mémoire. Dans le louable but de traiter la question des fours électriques d'une façon complète, l'auteur commence par passer en revue tous les appareils où l'électricité donne lieu à un dégagement de chaleur, aussi bien les conducteurs de courant que les appareils de chauffage et de cuisine. Il aborde ensuite l'arc électrique, donne quelques renseignements sur la fabrication des charbons pour arc et arrive enfin au but principal du livre: les fours électriques. Il termine par l'étude du carbure de calcium et de l'acétylène.

Si l'on considère ce volume indépendamment des trois autres qui ont été ou seront consacrés à l'électrochimie, ce plan peut parfaitement être adopté, à la condition toutefois de n'insister que sur les considérations utiles à l'objet principal, ce que n'a pas fait toujours l'auteur qui, à plusieurs endroits des deux premières parties du volume, s'est beaucoup trop étendu sur des faits n'intéressant que l'éclairage électrique.

Mais si les renseignements sont quelquefois trop complets, les lecteurs qu'ils intéressent ne s'en plaindront pas, et les électrochimistes trouveront suffisamment de détails sur les fours électriques pour tirer profit de la lecture de cet ouvrage.

J. Blondin.

Formulaire de l'Électricien (15e année), 1897, par Hospitalier. *Masson et Cie*, éditeurs.

L'éloge de cet ouvrage n'est plus à faire; tous ceux qui ont eu entre les mains les précédentes éditions, et ils sont nombreux, ont pu se rendre compte de son utilité au laboratoire et à l'usine. Bornons-nous donc à signaler cette nouvelle édition en nous excusant de ne pas l'avoir fait plus tôt. Disons cependant que quelques additions heureuses ont été faites, en particulier celle d'un vocabulaire technique français-anglais-allemand, dû à M. Levyllier, fort bien disposé pour la commodité des recherches et qu'apprécieront ceux qui veulent se tenir au courant des travaux faits à l'étranger. Ajoutons que, comme les précédentes, cette édition a été tenue au courant des plus récents progrès; ainsi les quelques pages consacrées à la lumière ont été complètement remaniées et

mises en harmonie avec les décisions du Congrès international de Genève du 9 août 1896. J. BLONDIN

Éclairage aux gaz, aux huiles, aux acides gras, par J. LEFÈVRE. 1 vol. de l'Encyclopédie des Aide-Mémoire. *Gauthier-Villars et fils* et *Masson et Cie*, éditeurs.

Ce volume complète celui que l'auteur a précédemment consacré à l'éclairage électrique et dont il a été parlé dans cette revue. Il renferme la description des autres systèmes, plus anciens ou plus modernes, qui utilisent la combustion. Parmi les divers chapitres de cet ouvrage, nous signalerons celui où l'auteur expose l'éclairage à l'acétylène, et celui où il compare les prix de revient des divers modes d'éclairage. Une bibliographie des ouvrages où l'auteur a puisé des renseignements, termine le volume.

Les huiles minérales : pétrole, schiste, lignite, par François MIRON. 1 vol. de l'Encyclopédie des Aide-Mémoire. *Gauthier-Villars et fils* et *Masson et Cie*, éditeurs.

Après les nombreuses publications qui ont été faites sur le pétrole, il semble qu'il soit bien difficile d'intéresser le lecteur à ce sujet: M. Miron a su, tant par la forme de l'exposition que par le choix des documents, éviter cet écueil. Le schiste est moins connu, quoique son traitement constitue une importante industrie française. Quant au lignite, il est surtout exploité en Allemagne. Ces deux minéraux sont, dans l'ouvrage de M. Miron, l'objet de quelques pages instructives.

Le volume se termine par un appendice consacré aux essais des huiles pour éclairage et des huiles pour graissage.

CHRONIQUE

Emploi de l'aluminium dans les aciéries. — On sait que, dans la fabrication des aciers Bessemer et Martin-Siemens on doit ajouter au bain un corps réducteur pour éviter l'oxydation du fer ; au début on employa le manganèse, puis on substitua à ce métal le silicium, que l'on propose aujourd'hui d'introduire sous forme de carborindon ou carbure de silicium, enfin on employa l'aluminium dès que le prix de ce métal fut suffisamment bas. Mais bien que l'usage de l'aluminium remonte déjà à une dizaine d'années et que certaines usines américaines en consomment actuellement une quantité considérable, les données relatives aux quantités d'aluminium à employer, suivant la nature du produit désiré et suivant le procédé de fabrication adopté, restaient encore à préciser.

Des expériences ont été faites récemment en Amérique dans le but de combler cette lacune. D'après notre confrère *Iron Age*, ces essais ont fourni les résultats suivants:

Dans la fabrication de l'acier Martin-Siemens la quantité d'aluminium à employer est de 56 à 140 gr par tonne d'acier ; l'addition de l'aluminium peut se faire dans la poche de coulée, ou, ce qui est préférable, pendant qu'on verse le métal dans les lingotières. Dans la fabrication de l'acier Bessemer, le poids d'aluminium par tonne peut être porté à 220 grammes.

Généralement l'aluminium est employé à l'état métallique; on le prend alors aussi pur que possible. Quelques métallurgistes se servent du ferro-aluminium (5, 10 et 20 p. 100 d'aluminium); il faut dans ce cas que le fer ne renferme ni soufre ni phosphore.

L'un des principaux avantages de l'emploi de l'aluminium est d'augmenter la pureté des lingots et, par suite, de diminuer les déchets. En outre, l'ébullition de l'acier pendant la coulée se trouve calmée et le refroidissement se trouve activé; toutefois il ne faut pas trop exagérer cette rapidité du refroidisssement, car l'acier peut alors renfermer de nombreuses soufflures ; c'est ce qui arrive lorsque l'on dépasse les proportions d'aluminium indiquées plus haut.

Quant à la dépense, elle est plus faible avec l'aluminium qu'avec le silicium; ainsi, tandis qu'il faut dépenser 25 fr avec le silicium, une dépense de 1,50 fr suffit avec l'aluminium: un métallurgiste anglais prétend avoir économisé de ce fait 50 000 fr en une seule année.

Rappelons à ce propos que l'aluminium peut aussi être employé avec succès dans la fusion de la fonte (Voir *L'Éclairage Électrique* du 22 mai 1897, t. XI, p. 431); dans ce cas, la proportion d'aluminium ne doit être que de 0,5 à 1 kg par tonne, d'après les récents essais américains.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XIII. Samedi 6 Novembre 1897 4e Année. — N° 45.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

SUR L'OBSERVATION ET L'INTERPRÉTION CINÉMATIQUE DES PHÉNOMÈNES DÉCOUVERTS PAR M. LE Dr ZEEMANN

Les phénomènes découverts par M. le Dr Zeeman, relatifs à l'action d'un champ magnétique sur les radiations émises par diverses sources lumineuses, ont donné lieu à quelques confusions qui me paraissent résulter de l'imperfection optique des modes d'observation. Les dispositifs suivants donnent une grande netteté à ces phénomènes et ne laissent aucun doute sur les conclusions définitives énoncées par l'auteur de la découverte (1).

La source lumineuse est la flamme d'un chalumeau oxhydrique léchant un fragment d'amiante imbibé de chlorure de sodium fondu, ou bien l'étincelle d'induction jaillissant entre deux électrodes métalliques; elle est placée entre les deux pôles d'un électro-aimant produisant un champ magnétique intense.

Une fente verticale placée près de la source lumineuse, ou dans le plan d'une image focale de cette source, dirige le faisceau sur un réseau concave Rowland de dix pieds de foyer, qui résout en raies brillantes le spectre de la source. Ce sont les raies spontanément renversables qui paraissent surtout déceler le phénomène.

(1) Dr P. Zeeman, Doublets and triplets in the spectrum produced by External Magnetic Forces, *Philos. Magazine*, t. XLIV, juillet et septembre 1897, p. 55 et 255.

PREMIER DISPOSITIF

L'observation de l'une de ces raies se fait dans le plan focal d'un oculaire où l'on fixe une aiguille d'acier normalement aux raies spectrales. En arrière de l'oculaire est placé un prisme biréfringent de Wollaston (1) qui dédouble l'image de l'aiguille : le diamètre de cette aiguille, d'ailleurs légèrement conique, est choisi de manière que les deux images aient un bord commun. On obtient ainsi deux plages contiguës polarisées, l'une parallèlement, l'autre perpendiculairement aux raies spectrales.

1° *Le faisceau est observé normalement aux lignes de force magnétiques.*

Les deux pôles de l'électro-aimant (bobines de Faraday, modèle ordinaire de Ruhmkorff), terminés par deux cônes arrondis, peuvent être rapprochés à 8 mm ou 10 mm, et l'on observe dans un plan perpendiculaire à la droite horizontale qui les joint.

On règle le prisme biréfringent de manière que les raies spectrales n'éprouvent aucune discontinuité sur la ligne de séparation des deux plages lorsque le champ magnétique est nul.

(1) Un rhomboïde de spath pourrait à la rigueur remplacer le prisme de Wollaston ; mais il y aurait quelques précautions à prendre pour éviter l'effet de *parallaxe* provenant de l'inégalité de distance des plans de vision des deux mages.

Dès qu'on excite l'électro-aimant on voit la raie s'élargir; mais dans les deux plages polarisées l'aspect de la raie est modifié.

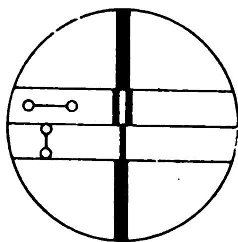


Fig. 1.

Dans la plage polarisée parallèlement aux lignes de force (ligne des pôles) la raie est dédoublée, c'est-à-dire présente une ligne sombre en son milieu; dans l'autre elle est, au contraire, amincie et se trouve exactement sur le prolongement de la ligne sombre précitée [1].

L'inversion des pôles magnétiques ne change en rien l'aspect du phénomène.

On en conclut que chaque raie simple primitive, non polarisée, est transformée en un triplet dont les composantes extérieures sont complètement polarisées parallèlement aux lignes de force et dont la composante intérieure est complètement polarisée dans un plan perpendiculaire. Le champ magnétique produit donc deux altérations de la période primitive, respectivement égales et de signe contraire, pour constituer les deux vibrations normales aux lignes de force sans modifier celle de la vibration parallèle à ces lignes.

2° *Le faisceau est observé parallèlement aux lignes de force.*

L'une des armatures polaires est percée, suivant la ligne des pôles, pour livrer passage à la lumière suivant la direction des lignes de force.

Pour faire l'observation on introduit, entre l'oculaire et le prisme biréfringent, une lame de mica quart-d'onde dont les sections principales sont à 45° de celles du prisme. Dès que le champ magnétique est excité on voit sur les deux plages la raie s'amincir et se briser sur la ligne de séparation (fig. 2).

Si l'on tourne la lame quart-d'onde d'un angle droit, la brisure se fait en sens inverse (fig. 3).

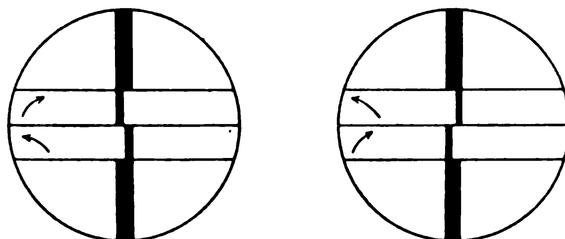


Fig. 2 et 3.

L'inversion des pôles intervertit le sens de la brisure. On reconnaît en outre que le milieu des deux raies ainsi produites occupe sensiblement la position de la raie primitive : les deux altérations de la période sont donc égales et de signe contraire.

On rend le phénomène encore plus visible en fixant côte à côte, sur une même glace, deux lames quart-d'onde à sections homologues rectangulaires; un petit mouvement alternatif de translation imprimé à ces lames donne alternativement les deux apparences précitées. Un rythme convenable accroît encore la sensibilité de la méthode; car, lorsque l'œil fixe la raie de l'une des plages, le déplacement relatif de la raie correspondante de l'autre plage se trouve *physiologiquement* doublé.

Ces apparences prouvent que l'action du champ magnétique dédouble chaque radiation en deux faisceaux polarisés circulairement de sens inverse, le renversement des pôles renversant le sens de la rotation des vibrations circulaires.

En déterminant le sens de la rotation de chacun de ces faisceaux [1] on parvient à ré-

[1] Lorsqu'on opère avec la lumière de la soude chaque raie D_1, D_2 peut être plus ou moins *renversée*, c'est-à-dire plus ou moins dédoublée : il en résulte une complication apparente, mais qui ne change pas le caractère essentiel du phénomène.

[1] Cette détermination correcte n'est pas aussi facile qu'on pourrait le supposer : on risque de commettre des erreurs dont M. le Dr Zeeman lui même a connu le danger (*loc. cit.*, p. 58). Dans l'Appendice qui suit j'indique diverses méthodes optiques qui permettent d'effectuer pratiquement et de vérifier ce genre de détermination.

sumer l'ensemble des résultats dans l'énoncé très simple que nous donnons plus loin.

SECOND DISPOSITIF

Au lieu d'un long prisme biréfringent de Wollaston (nécessaire pour obtenir deux plages suffisamment larges) on peut utiliser un simple prisme de Nicol : le double champ s'obtient alors avec des lames de mica convenablement choisies et orientées.

1° *Faisceau observé normalement aux lignes de force.*

Dans le plan de l'oculaire on place deux lames *demi-onde* réglées sur la réfrangibilité de la raie brillante employée [1].

La lame supérieure a ses sections principales parallèles ou perpendiculaires à la direction des raies spectrales, la lame inférieure à ± 45° de ces raies. Si la section principale du prisme de Nicol est parallèle ou perpendiculaire à cette direction on obtient la même apparence (fig. 1) qu'avec le premier dispositif, parce que la seconde lame demi-onde fait tourner d'un angle droit les plans de polarisation des faisceaux qu'elle transmet.

2° *Faisceau observé parallèlement aux lignes de force.*

Dans le plan focal de l'oculaire on place deux lames *quart-d'onde :* la lame supérieure a ses sections principales à + 45°, l'inférieure à — 45° de la direction des raies; le prisme de Nicol étant réglé comme précédemment, on obtient la même apparence (fig. 2) qu'avec le premier dispositif.

Si l'on veut produire le balancement rythmé on dispose un second système en ordre inverse qu'on fixe à côté du premier dans l'ordre figuré comme il suit :

+ 45°	— 45°
— 45°	+ 45°

La translation alternative de ce système à droite et à gauche produit l'inversion et la duplication apparente si favorable à l'observation du phénomène.

INTERPRÉTATION CINÉMATIQUE DES PHÉNOMÈNES

L'ensemble des phénomènes peut se résumer en un énoncé conforme aux règles de Fresnel et d'Ampère.

Voici d'abord les règles auxquelles il est fait allusion :

1° Un faisceau de lumière ordinaire est la superposition de deux faisceaux indépendants égaux en intensité et polarisés à angle droit (FRESNEL);

2° Un faisceau polarisé rectilignement est la superposition de deux faisceaux égaux en intensité et polarisés circulairement en sens inverses (FRESNEL);

3° Une ligne de force magnétique équivaut à l'axe d'un solénoïde dont le pôle austral est à la gauche du courant (AMPÈRE).

L'action du champ magnétique sur l'émission d'une radiation tend à décomposer les composantes rectilignes vibratoires susceptibles de se propager par ondes suivant des vibrations circulaires parallèles aux courants du solénoïde.

Les vibrations qui tournent dans le sens du courant du solénoïde sont accélérées, celles qui tournent en sens inverse sont retardées.

On reconnaît immédiatement le doublet observé dans le sens des lignes de force.

Dans le sens perpendiculaire à ces lignes, cet énoncé montre que la composante parallèle aux lignes de force (onde polarisée perpendiculairement à cette direction) est inaltérée : c'est la raie médiane du triplet; les deux raies extérieures polarisées à angle droit de celle-ci sont plus difficiles à reconnaître. Cependant on aperçoit géométriquement leur existence : en effet, c'est ce qui subsiste des deux vibrations circulaires, l'une accélérée, l'autre retardée, en lesquelles le champ magnétique dédoublait la composante normale aux lignes de force : il y a extinction ou compensation mutuelle des deux compo-

[1] Le réglage correct de la biréfringence des lames de mica exige aussi des soins particuliers qui sont l'objet de quelques développements dans l'Appendice annoncé.

santes longitudinales qui ne peuvent pas se propager (les deux ondes polarisées rectilignement sont produites par les vibrations circulaires de sens inverses, vues de *tranche*).

Cette interprétation purement cinématique, quoique un peu superficielle, montre que le phénomène découvert par M. le Dr Zeeman peut être expliqué par des considérations tout à fait indépendantes des idées électrochimiques de M. le professeur Lorentz, qui en sont l'origine, et se rapproche beaucoup des théories tourbillonnaires récemment remises en honneur.

Elle montre en outre la différence essentielle qui existe entre ce phénomène et celui du pouvoir rotatoire magnétique découvert par Faraday.

L'action du champ magnétique sur les sources où les ondes sont pour ainsi dire à l'*état naissant* s'exerce sur la *période vibratoire*, tandis que, dans l'expérience de Faraday, elle s'exerce sur la *vitesse de propagation* d'ondes lumineuses ayant déjà acquis leur régime permanent.

Je me suis assuré, avec les mêmes dispositifs, que la rotation magnétique du plan de polarisation n'est accompagnée d'aucune variation sensible de la période vibratoire de la lumière monochromatique employée, tandis que j'ai démontré autrefois [1] que la vitesse de propagation des deux ondes circulaires est modifiée : l'une est accélérée, l'autre est retardée de quantités sensiblement égales dans le sens correspondant à la règle d'Ampère.

APPENDICE

MÉTHODES OPTIQUES RELATIVES A L'OBSERVATION ET A LA DISTINCTION DES FAISCEAUX POLARISÉS CIRCULAIREMENT.

La distinction du sens de la rotation des faisceaux polarisés circulairement exige la construction d'un polariscope spécial comportant une lame mince cristallisée ayant une biréfringence particulière et des directions vibratoires déterminées. La question se ramène donc théoriquement à celle-ci : Étant donnée une lame mince cristallisée (mica, gypse, quartz, etc.), 1° déterminer les directions des sections principales, c'est-à-dire la trace des plans de polarisation des deux ondes doublement réfractées ; 2° distinguer celle qui est parallèle à la vibration de l'onde la plus rapide et celle qui est parallèle à la vibration de l'onde la moins rapide ; 3° déterminer la valeur de son pouvoir biréfringent.

La première détermination est extrêmement facile et bien connue ; elle s'effectue avec l'appareil de Norremberg ou tout autre appareil équivalent composé d'un analyseur et d'un polariseur croisés ; ce sont les directions qui ramènent l'extinction.

La seconde et la troisième opération sont beaucoup plus délicates : il existe en optique un grand nombre de procédés simples pour les exécuter ; la plupart sont fondés sur une détermination préalable pour laquelle on est obligé de s'en rapporter aux indications de l'opticien qui livre l'appareil (lames de quartz, micas, bilames diverses, compensateurs, etc.).

Il est donc nécessaire, si l'on veut éviter les méprises fâcheuses, d'employer une méthode qui ne laisse rien à une appréciation étrangère et qui permette à l'expérimentateur de ne s'appuyer que sur ses propres observations. La méthode des franges d'Arago et Fresnel, l'emploi d'un prisme de gypse (dont on peut cliver des lamelles), etc., fournissent aux physiciens rompus aux expériences délicates, des moyens de déterminer la biréfringence et de distinguer la vibration de l'onde la plus rapide ou la plus lente ; les opérations sont relativement simples, mais elles exigent une grande attention pour éviter les erreurs. Ces méthodes ne sont donc pas à conseiller aux personnes qui n'ont pas l'habitude de ce genre d'observations. Heureusement, par un choix convenable du phénomène pris comme point de départ, on peut éviter les opérations préliminaires du repérage de la lame cristalline et arriver à déterminer directement le sens de la rotation de la vibration circulaire transmise ou éteinte par un polariscope donné.

Voici la méthode qui me paraît conduire le plus facilement au but proposé.

---

[1] *Comptes rendus*, t. XCII, p. 1365. Les phénomènes découverts par M. le Dr Zeeman permettent d'étendre aux variations des périodes la loi conjecturale énoncée (*loc. cit.*, p. 1370) pour les variations des vitesses des deux ondes circulaires provenant du dédoublement d'une onde à vibration rectiligne.

Construction d'un polariscope pour les rayons polarisés circulairement.

Le polariscope se compose d'un prisme de nicol et de deux lames de mica quart d'onde fixés sur une glace et dont les sections principales homologues sont perpendiculaires entre elles; elles sont dirigées à ± 45° de leur bord commun.

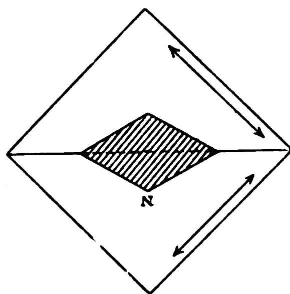


Fig. 4.

Le prisme de nicol N a l'une de ses diagonales parallèle à ce bord. — On reconnaît le deuxième dispositif employé ci-dessus (p. 243), l'oculaire peut être placé soit en avant, soit en arrière du polariscope, soit même interposé entre le nicol et les micas, suivant le mode d'observation adopté.

Si avec cet appareil on vise une image polarisée circulairement dans un certain sens, la partie de cette image qui tombe sur l'un des micas est éteinte, l'autre n'est pas altérée. Si l'image focale est polarisée circulairement en sens inverse, les parties éteintes et conservées sont interverties.

Il suffit donc, pour distinguer les deux champs, d'observer une fois pour toutes un faisceau polarisé circulairement de sens connu et de marquer la lame de mica qui le transmet sans altération.

Production d'images polarisées circulairement de sens connu.

On réalise deux images polarisées circulairement de sens connu à l'aide d'un prisme de quartz BAC (fig. 5) de rotation connue, par exemple dextrogyre, dont le plan bissecteur AP est normal à l'axe optique.

Rappelons qu'on appelle *dextrogyre* le quartz qui, transmettant un faisceau polarisé suivant l'axe, fait tourner le plan de polarisation de gauche à droite (c'est-à-dire dans le sens ordinaire du mouvement des aiguilles d'une montre) pour un observateur O recevant directement dans l'œil le faisceau émergent.

D'après l'explication cinématique due à Fresnel du pouvoir rotatoire, le quartz dextrogyre est celui qui propage suivant l'axe les ondes à vibrations *circulaires droites* avec la plus grande vitesse. D'où il résulte que si l'on place sur un goniomètre de Babinet le prisme BAC au minimum de déviation, on observera deux faisceaux émergents ED, FG, correspondant à un seul faisceau incident, et le *moins dévié* sera polarisé circulairement *à droite*, le plus dévié, polarisé circulairement *à gauche* (fig. 5). Telle est l'observation qui permet de régler le polariscope; voilà donc le problème pratiquement résolu.

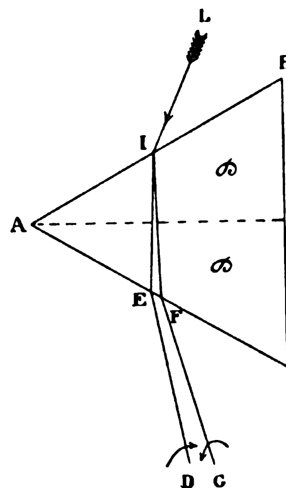


Fig. 5.

Mais il y a quelques difficultés secondaires. D'abord les deux faisceaux sont extrêmement rapprochés : ils font entre eux un angle d'environ 27″ pour un prisme de 60°. Il est donc nécessaire d'avoir un prisme à faces bien planes et une lunette d'un fort grossissement (environ 40 à 50) pour dédoubler deux images si rapprochées. De plus il faut employer une lumière monochromatique : l'une des plus commodes est la raie verte du thallium [1] (sels thalliques dans l'alcool, ou étincelle d'induction entre deux pôles de thallium métallique).

---

[1] La lumière jaune de la soude peut également servir ; mais comme elle donne deux raies très rapprochées, elle peut amener au premier abord une certaine confusion; cependant comme l'écartement des deux faisceaux circulaires est environ 3 fois plus grand que celui des deux raies, il n'y a pas d'erreur définitive à craindre : le polariscope, d'ailleurs, enlève tout doute.

Toutes ces conditions sont d'ailleurs facilement réalisables.

Toutefois il sera plus commode d'observer des faisceaux plus écartés et d'éviter l'emploi de lumières monochromatiques : voici alors le dispositif à conseiller.

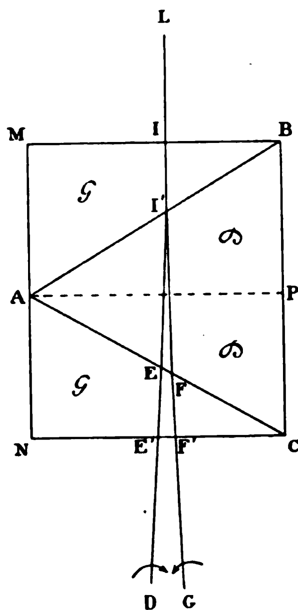


Fig. 6.

On ajoutera au prisme dextrogyre BAC, deux demi-prismes levogyres MBA, NCA, dont les faces MB et NC sont perpendiculaires à l'axe : ces prismes compensent par réfraction la déviation moyenne des faisceaux circulaires émergents, mais doublent leur divergence sans changer leur disposition relative par rapport à la base du prisme intérieur BAC. On opère avec de la lumière blanche.

Ce bloc rectangulaire de quartz, n'est autre chose que le célèbre *triprisme* à l'aide duquel Fresnel a vérifié son explication du pouvoir rotatoire. Ce triprisme classique est donc véritablement l'appareil fondamental de repère que doit posséder tout laboratoire où l'on utilise la polarisation circulaire.

Détermination du sens du pouvoir rotatoire d'un bloc de quartz épais présentant deux faces perpendiculaires à l'axe.

Nous avons admis que le sens du pouvoir rotatoire du prisme BAC employé était connu ainsi que celui des demi-prismes additionnels : il semble qu'on soit obligé de s'en rapporter à l'opticien sur ce point ; mais les vérifications sont faciles.

On peut d'abord vérifier que le triprisme est correctement construit; placé entre deux nicols *croisés* en lumière blanche parallèle, il donne un magnifique système de franges irisées parallèles aux arêtes des prismes: la frange centrale est *noire*, suivant le plan où les épaisseurs de quartz droit et gauche sont égales. On a ainsi la preuve que les deux systèmes de prismes sont de rotation contraire.

Reste à déterminer le sens de l'un d'eux. Si l'on accole les deux demi-prismes par leur face oblique AB AC, on constitue (fig. 7) un bloc à faces parallèles MB NC normales à l'axe optique, qui équivaut à un bloc unique, car le plan de séparation AB AC ne change en rien la marche des faisceaux transmis normalement à ces faces. L'épaisseur de ce bloc est trop grande pour que les colorations soient vives et que leur succession par rotation de l'analyseur soient caractéristique au sens de la rotation du quartz [1]. Mais à l'aide d'un artifice très simple on tourne la difficulté. On place le bloc entre un polariseur et un analyseur; le faisceau de lumière blanche qui a traversé ces trois cristaux est projeté sur la fente d'un spectroscope : le spectre est alors sillonné de cannelures parallèles à la fente du collimateur, alternativement sombres et brillantes : c'est le phénomène décrit pour la première fois par Fizeau et Foucault. L'observateur fait alors tourner l'analyseur d'un mouvement uniforme, les cannelures se déplacent ; le sens de la rotation du bloc de quartz est alors défini d'après le sens du déplacement par la règle suivante qu'on déduit aisément de la loi de Biot [2] :

Le sens de la rotation du quartz est celui de la rotation de l'analyseur qui déplace les cannelures du rouge vers le violet.

Il n'y a aucune ambiguïté sur le sens de rotation de l'analyseur, c'est celui que verrait l'obser-

(1) Au Norremberg, avec la lumière monochromatique de la soude, les opticiens déterminent le sens du bloc de quartz à l'aide des spirales d'Airy ; mais il faut *admettre* le résultat géométrique relatif à la forme des courbes. Nous cherchons au contraire, ici, une méthode qui dispense d'admettre autre chose que les définitions de Fresnel.

(2) L'angle de rotation du plan de polarisation du quartz est proportionnel à l'épaisseur traversée et sensiblement en raison inverse du carré de la longueur d'onde.

vateur s'il recevait directement le faisceau avant son entrée au spectroscope.

Ainsi on peut déterminer le nom du quartz qui constitue les deux demi-prismes : le prisme entier BAC étant de nom contraire, se trouve ainsi défini. Du reste on pourrait le déterminer directement [1] en constituant ce prisme par deux demi-prismes BAP, PAC obtenus par le sciage d'un bloc dextrogyre. C'est même sous cette forme qu'on doit recommander la construction du tri-

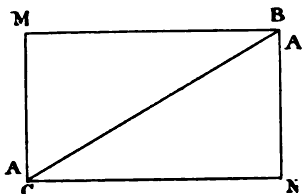


Fig. 7.

prisme de Fresnel, parce qu'elle permet un grand nombre de combinaisons symétriques intéressantes, en particulier celle que nous venons d'indiquer et qui sert à la détermination directe du sens du pouvoir rotatoire du prisme BAC par reconstitution du bloc primitif.

Le problème pratique est donc entièrement résolu et permet même des vérifications nombreuses auxquelles nous ne nous arrêterons pas.

Remarque. — Dans les expériences de M. le Dr Zeemann où l'on emploie un réseau Rowland sur métal, il ne faut pas oublier que la réflexion qui précède la diffraction renverse le sens de rotation des faisceaux polarisés circulairement.

Mesure de la biréfringence.

Vérification des lames quart-d'onde et demi-onde. — Il n'est pas superflu d'ajouter quelques mots sur le choix et la vérification des lames de mica *quart-d'onde* et *demi-onde*. On les obtient en clivant des mica ; parmi les lamelles les plus minces celles qui donnent la teinte gris bleuâtre sur la plate-forme supérieure du Norremberg et le jaune paille sur le miroir inférieur correspondent à une différence de marche de un quart de longueur d'onde du jaune moyen du spectre [1] : c'est la lame quart-d'onde correspondant à la lumière blanche moyenne. Les lamelles plus épaisses qui donnent le jaune paille en haut et en bas violet sombre (pourpre, violet, indigo) correspondent à la demi-onde moyenne. Mais l'appréciation de ces teintes est assez délicate ; de plus elle ne s'applique qu'à la lumière blanche prise en bloc. Il est donc nécessaire d'employer une méthode qui permette d'obtenir avec une approximation mesurable la biréfringence correspondant à une couleur de réfrangibilité donné.

La méthode suivante s'applique à toutes les radiations visibles et même invisibles, soit ultra-violetes (à l'aide de la photographie), soit infra-rouges (à l'aide des procédés thermométriques ou bolométriques).

Elle est fondé sur l'emploi des spectres cannelés : la théorie en est si simple qu'il est inutile de la rappeler ici.

Quarts-d'Onde. — Etant donnée une lamelle approximativement réglée d'épaisseur, il s'agit de déterminer quelle est la valeur de sa biréfringence correspondant à une radiation choisie ; cette biréfringence se mesure par la fraction de longueur d'onde de cette radiation qui représente la différence de marche entre les deux ondes transmises. Voici comment on peut opérer :

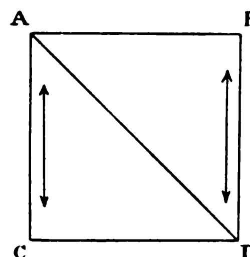


Fig. 8.

On découpe dans la lamelle à déterminer un carré ABCD (fig. 8) dont les côtés soient parallèles aux sections principales. On trace sur deux côtés opposés deux traits parallèles qui vont servir de repères, puis on coupe la lamelle en diagonale et on retourne l'une des moitiés de manière à reconstituer un carré (fig. 9). Dans cette seconde position les

(1) Avec un peu d'habitude des expériences d'optique, on peut très bien apercevoir les cannelures mobiles sans spectroscope auxiliaire, avec le spectre même que fournit le prisme BAC, lorsqu'il est sur le goniomètre au minimum de déviation. Le collimateur étant éclairé avec de la lumière blanche polarisée, on place un analyseur derrière l'oculaire de la lunette ; en réduisant la largeur du prisme à quelques millimètres pour ne mettre en jeu qu'une épaisseur bien définie de ce prisme, on voit très nettement les cannelures et le sens de leur déplacement,

(1) Voir le *Traité d'optique physique* de Billet, t. II, p. 13.

traits repères, au lieu d'être parallèles sont perpendiculaires entre eux ; on fixe les lames ainsi placées avec des bandes gommées sur une lame de glace. On reconnaît la disposition recommandée (fig. 9) pour le polariscope précédemment décrit.

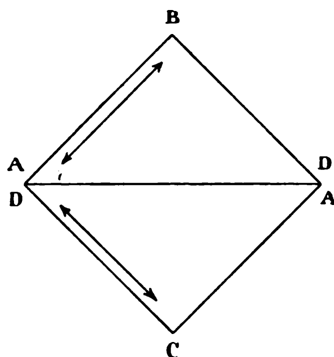


Fig. 9.

D'autre part on produit dans un spectroscope, un spectre cannelé en projetant sur la fente d'un collimateur un faisceau ayant traversé une lame de gypse ou de quartz parallèle à l'axe d'environ 1 mm d'épaisseur (¹) placée entre deux nicols croisés. Les plans de polarisation de ces nicols doivent être l'un parallèle, l'autre perpendiculaire à la fente ; la lame de gypse ou de quartz ayant ses sections principales à 45° de ces directions, donne le maximum d'éclat aux cannelures. Si l'on superpose l'une des lamelles de mica à cette lame de gypse (ou de quartz) de manière que les sections principales des deux cristaux soient parallèles, toutes les cannelures se déplacent dans un certain sens ; si l'on substitue la seconde lamelle à la première (en élevant ou abaissant le système des deux lamelles) toutes les cannelures se déplacent en sens inverse, parce que les sections principales se trouvent alors croisées, on obtient ainsi le double de l'effet de chaque lamelle.

Lorsqu'on relève, avec un micromètre, d'une part la position des cannelures, de l'autre le déplacement de chacune d'elles à droite ou à gauche par l'effet des deux lamelles, on reconnaît que le double déplacement est plus petit dans la région du rouge que dans la région du violet même en tenant compte de l'écartement croissant des cannelures du rouge au violet. Cela montre qu'une lame de mica donnée ne peut être un *quart-d'onde* exact que pour une couleur particulière. On trouve aisément cette couleur : c'est la région du spectre où le double déplacement est égal à la moitié de la distance entre deux bandes noires ou deux bandes claires successives, car cette distance correspond à une différence de marche égale à la longueur d'onde moyenne de la région considérée ; le quotient du demi-déplacement par la distance des deux bandes voisines donne en fraction de longueur d'onde la mesure de la biréfringence de la lamelle.

Si l'on n'a pas besoin d'une précision très grande on peut se dispenser de toute mesure et de tout calcul : il suffit de disposer une petite lentille de projection de 8 à 10 cm de distance focale, qui projette l'image des lames de mica sur la fente du collimateur, la ligne de séparation des deux lamelles coupant transversalement la fente. En opérant avec soin cette mise au point, on voit le champ du spectre cannelé se diviser en deux parties, par une ligne sombre horizontale, image des bords contigus des deux lamelles; au-dessus on a la *somme* des biréfringences du cristal (gypse ou quartz) et de la lame de mica ; au-dessous, la *différence* (¹) (fig. 10).

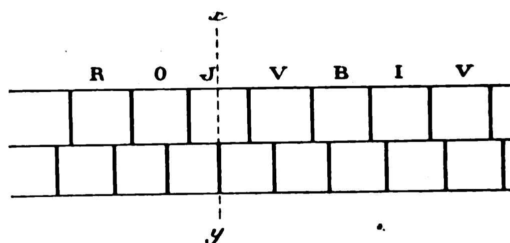


Fig. 10.

Avec ce système de cannelures on voit immédiatement pour quelle couleur la lame de mica est quart-d'onde : c'est celle où la bande supérieure et la bande inférieure sont distantes d'un demi-intervalle de bandes. On le constate avec précision en plaçant le réticule *xy* sur la bande sombre

(¹) On choisit l'épaisseur de 0,75 mm à 1 mm pour avoir dans le spectre 8 à 10 bandes qui séparent le spectre en régions colorées, représentant à peu près les dénominations en usage ; c'est d'ailleurs un nombre suffisant pour permettre l'interpolation proportionnelle dans les mesures.

(¹) Il ne faut pas s'inquiéter des franges pâles et serrées qui se superposent aux cannelures principales : ce sont les *anneaux transmis* des lames minces causés par l'interférence des faisceaux réfléchis aux deux surfaces de chaque lame. Elles apparaissent sur le spectre en l'absence de toute polarisation ; on les voit même en interposant une lame mince entre l'œil et l'oculaire ; elles augmentent de netteté et de largeur par l'inclinaison sur le rayon visuel.

du bas, elle tombe sur le milieu de la bande claire du haut, ou inversement.

On classe ainsi les lamelles qu'on a clivées, suivant la couleur pour laquelle elles sont quart d'onde, et on choisit celle qui convient à l'expérience projetée.

2° *Demi-ondes.* — Les mêmes opérations s'appliquent exactement à la recherche de la couleur pour laquelle une lamelle donnée est *demi-onde ;* le double déplacement produit alors une frange entière, c'est-à-dire que les cannelures du champ supérieur et inférieur se correspondent dans la région cherchée.

Remarque. — Il est nécessaire de présenter les lames de mica bien normalement aux faisceaux qui les traversent, sans quoi on s'expose à commettre des erreurs assez graves dans l'appréciation de leur biréfringence.

Autre dispositif. — Le dispositif précédent a l'avantage d'être facile à établir et même à improviser, puisqu'il ne comporte que l'emploi d'une lame de gypse d'environ 1 millimètre d'épaisseur, si facile à cliver. L'inconvénient (si c'en est un) est la nécessité de couper la lamelle à étudier suivant la forme représentée fig. 9. Mais on peut renverser les rôles du cristal et de la lamelle et obtenir un mode d'observation encore plus commode. On fait tailler par un opticien une lame carrée de quartz parallèle à l'axe (fig. 8), de 0,75 mm à 1 mm d'épaisseur, l'axe optique étant parallèle à l'un des côtés : sciée suivant la diagonale et disposée comme dans la fig. 9 pour reconstituer un carré, elle forme un biquartz qui, placé comme précédemment entre deux nicols croisés, permet d'obtenir un spectre cannelé. Les cannelures se prolongent sans brisure de part et d'autre de la ligne sombre, projection de la ligne de séparation AD des deux moitiés du biquartz. Mais si l'on superpose la lamelle de mica à étudier de manière que ses sections principales soient parallèles à celles du quartz, les cannelures sont brisées et reproduisent la disposition de la fig. 10; l'interprétation en est la même.

Cette méthode d'observation exige la taille d'un cristal de quartz, mais elle a l'avantage très grand de n'exiger aucune taille des lamelles qu'on superpose au biquartz sans autre précaution que de les tourner progressivement dans leur plan, afin de chercher par tâtonnement la coïncidence des sections principales. Dans ce mouvement les franges se balancent de chaque côté de leur position primitive; les élongations maximum correspondent à ces deux positions rectangulaires de coïncidence. Il suffirait d'ailleurs pour éviter tout tâtonnement de tracer, au Norremberg, sur la lame, la direction de l'une des sections principales.

Remarque. — Ce biquartz est particulièrement utile lorsqu'on veut opérer sur des radiations violettes ou ultra-violettes par la photographie ; l'appareil réglé une fois pour toutes donne en un seul cliché la mesure de la biréfringence de la lamelle superposée au biquartz, dans toute l'étendue du spectre photographié.

A. Cornu,
de l'Institut

MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES

Les perfectionnements apportés aux moteurs et dynamos par MM. E.-K. Scott et A.-G. New [1] ne présentent qu'une réunion de divers dispositifs très connus, et ont pour but de diminuer les frottements et la réaction d'induit dans les machines dynamo-électriques.

Comme le montrent les figures 1 et 2, la réduction des pertes par frottements est obtenue en disposant l'arbre verticalement et en soulageant le poids de l'induit, non pas par une suspension magnétique comme celle employée par la maison J. Farcot [1], ou par les ateliers

[1] Brevet anglais n° 1 158, 3 figures. Déposé le 15 janvier 1897, accordé le 17 avril 1897.

[1] Voir Guilbert, Un gouvernail propulseur électrique, p. 446, t. I, 1894.

d'Oerlikon [1], mais en déplaçant légèrement dans le sens axial, comme l'ont indiqué MM. Sautter, Harlé [2] et plusieurs autres,

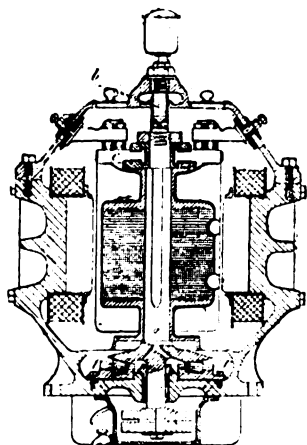


Fig. 1. — Coupe par l'axe d'un moteur à axe vertical Scott et New.

l'induit par rapport à l'inducteur. L'attraction magnétique de l'inducteur et de l'induit s'exerce alors en sens contraire de la pesanteur et diminue le travail de frottement du pivot. Le pivotage est obtenu par des galets de roulement; dans ce but, une roue conique roule sur les galets mobiles *r*, *r*; l'ensemble

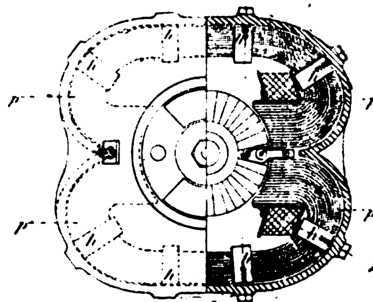


Fig. 2. — Coupe perpendiculaire d'un moteur Scott et New.

de la roue et des galets est complètement baigné dans l'huile.

Le coussinet supérieur servant simplement de guide pourrait être constitué par une douille en graphite n'exigeant pas de lubrifiant. Toutefois la figure 1 représente

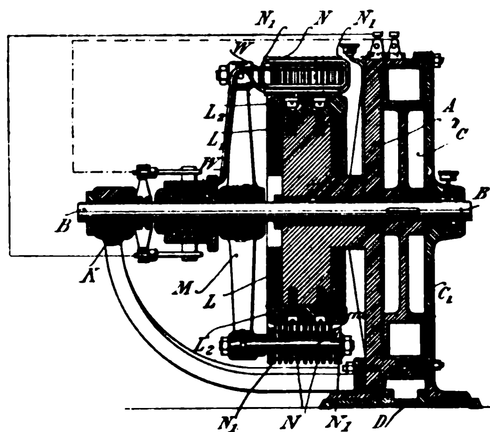


Fig. 3 et 4. — Coupes diverses d'une turbine-dynamo A. Fischer et A. Held.

un coussinet ordinaire avec graissage à l'huile par les pattes d'araignée *b*.

Pour combattre la réaction d'induit, l'inducteur est feuilleté dans un sens parallèle à l'axe, et les tôles affectant la forme d'un fer à cheval *pp* sont serrées par endroits à l'aide des pièces spéciales *h*. Ce procédé a été employé très souvent et particulièrement dans les moteurs à courant alternatif dits à inducteurs lamellés.

Le collecteur C est plan.

MM. A. Fischer et A. Held [1] brevètent

(1) Voir *Lumière Électrique*, t. LIII, p. 277

(2) Brevet français, 1894.

(1) Brevet anglais, n° 28 196, 5 figures. Déposé le 15 avril 1896, accordé le 13 février 1897.

une disposition très compacte formée d'une dynamo et d'une turbine à eau, à air comprimé ou à vapeur.

La turbine est constituée par une caisse A (fig. 3, 4), dans laquelle tourne la roue à cuillers C. L'arrivée de l'eau, de l'air ou de la vapeur se fait par la conduite H et est

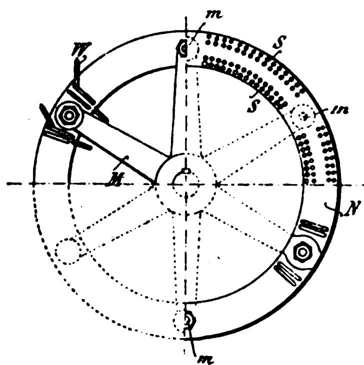


Fig. 5. — Tôles d'induit de la dynamo Fischer et Held.

réglée par la tige *h*. Entre la caisse A et la plaque de fondation D est réservée une chambre E munie d'un obturateur régulateur *i*. Le couvercle C_1 permet un démontage facile de la roue C. L'arbre B dont le second

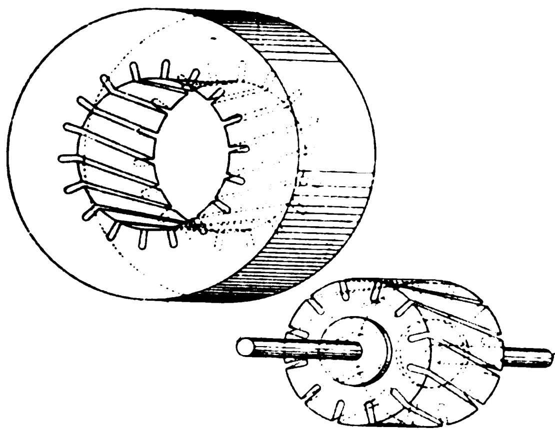


Fig. 6 et 7. — Partie fixe et partie mobile d'un moteur à dents hélicoïdales système O.-F. Blathey et K. de Kando.

palier est porté par le bras K est calé sur le support M de l'induit. Ce dernier est fixé après son support à l'aide des boulons *m*; il est formé de disques de tôle N représentés sur la figure 5 et serrés entre deux disques plus épais N_1 N_1.

Pour éviter les effets de la force centrifuge sur l'enroulement W de l'induit, celui-ci

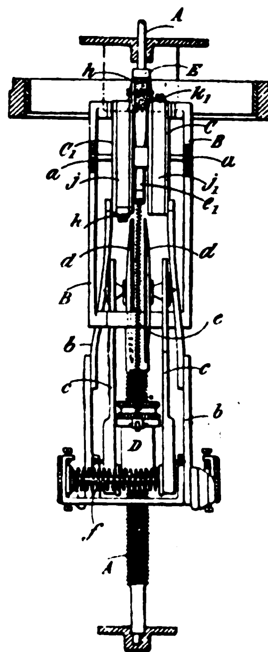


Fig. 8. — Courbe du régulateur de vitesse M.-W. Consett.

est disposé dans des trous S pratiqués aux bords intérieurs et extérieurs des disques.

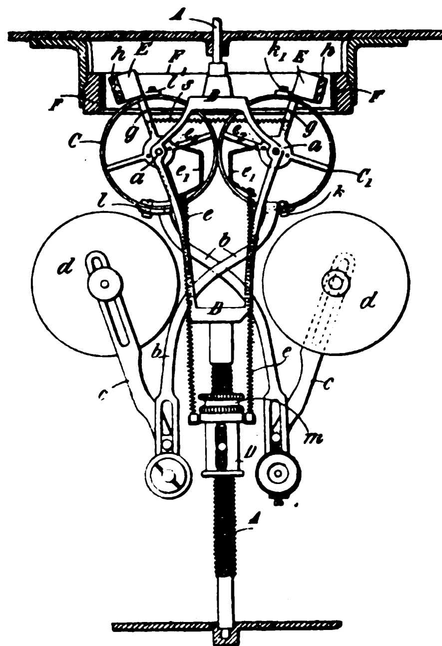


Fig. 9. — Coupe du régulateur de vitesse M.-W. Consett.

L'inducteur fixe est disposé à l'intérieur

de l'induit ; il se compose de quatre bobines L_1, et chaque noyau est muni d'une pièce polaire rapportée L_2.

La question de l'influence des canalisations à courants altermatifs sur les communications téléphoniques et celle des moyens pour supprimer le bruit de friture particulièrement agaçant qui en est le résultat, préoccupent toujours les partisans du courant alternatif soucieux de faire disparaître cet inconvénient fâcheux pour le développement des installations à courants alternatifs.

Fig. 10. — Coupe perpendiculaire par l'axe du régulateur Consett.

MM. O.-T. Blathy et Koleman de Kando donnent une solution à la question dans un récent brevet [1].

Après avoir remarqué que les bruits insolites sont forcément dus aux harmoniques supérieures des courants non sinusoïdaux résultant de la déformation des courants dans les moteurs par la variation de coefficients d'induction, conséquence de la présence de dents sur l'induit et sur l'inducteur, ils font disparaître les variations par un procédé déjà employé pour les induits à courant continu [2]. Ce procédé consiste à disposer les dents non plus suivant les génératrices de surfaces cylindriques en regard dans l'entrefer, mais suivant des hélices de pas assez grand, autrement dit à incliner les rainures sur la direction de l'axe.

Fig. 11 et 12. — Coupes d'une machine de 72 000 watts de la maison Willem Smit et Cie.

L'inclinaison des dents sur l'une des parties du moteur induit ou inducteur suffirait en réalité, néanmoins les inventeurs inclinent les dents sur les deux parties et évidemment en sens centraire.

Les figures 6 et 7 donnent une idée de cette disposition particulière des dents.

Le régulateur de vitesse de M. M.-W. Consett [3] est représenté sur les figures 8, 9 et 10.

[1] Brevet anglais, n° 9 708, 2 figures. Déposé le 15 avril 1897, accordé le 5 juin 1897.

[2] Brevet français J. Farcot, 1894.

[3] Brevet anglais, n° 15 860, 5 figures. Déposé le 17 juillet 1896, accordé le 27 février 1897.

L'arbre A dont il faut maintenir la vitesse constante porte un système de deux plateaux en forme de double T, B, réunis par des bras coudés portant en *a* les coussinets de deux paires de tambours C C_1, mobiles autour de leurs axes. Les deux tambours C_1 portent chacun un bras *b*, à l'extrémité libre duquel pivote un autre bras *c* muni d'un disque *d* qui peut être déplacé le long de *c* pour le réglage de l'appareil.

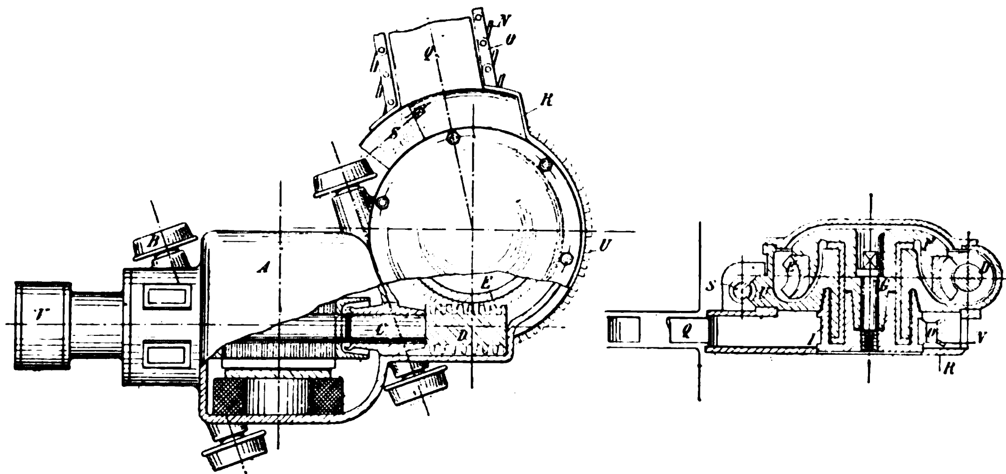


Fig. 13 et 14. — Vue et coupe d'un moteur C.-W. Aktinson pour mines.

Normalement ces bras sont sollicités à se rapprocher de l'arbre A par les ressorts *ee* dont les extrémités inférieures sont fixées à un manchon mobile D, maintenu en place par un écrou *m* et les extrémités supérieures attachées à des leviers coudés e_1 pivotant autour des points e_2. Un ressort *f* appuie l'une sur l'autre les extrémités des bras *b* et *c*.

Entre chaque paire de tambours peut

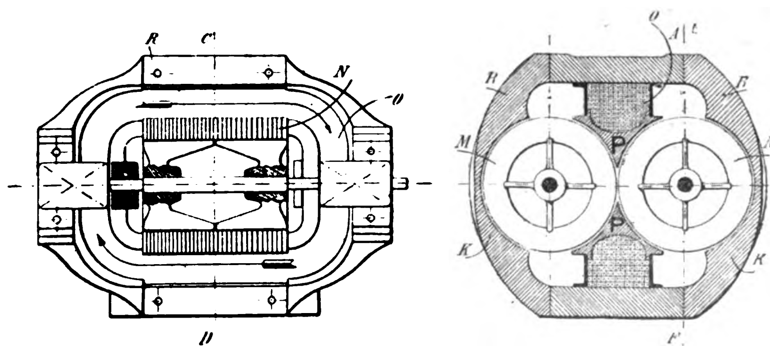


Fig. 15 et 16. — Dynamo J.-W. Knowles à deux induits.

pivoter en *g* un levier E portant à sa partie supérieure un sabot en cuir *h* qui vient frotter contre l'anneau de friction F ; un ressort *s* tend à faire appliquer les sabots sur l'anneau.

Pour relier le mouvement des bras *b* avec celui des frotteurs *h*, on a enroulé sur chaque système formé d'un tambour C et d'un tambour C_1 dont les axes ne sont pas sur le prolongement l'un de l'autre, deux bandes métalliques *j* et j_1 fixées l'une aux points *k* et *l*, l'autre aux points k_1 et l_1.

Le fonctionnement de l'appareil est facile à comprendre. Lorsque l'arbre a sa vitesse normale, les sabots *h*, sont voisins de l'anneau, mais ne frottent pas sur lui. Si la vitesse aug-

mente les disques *d* s'écartant, les bandages métalliques *j*, *j*[1], font tourner les tambours qui agissant sur les leviers E, viennent appuyer plus ou moins fortement les frotteurs sur l'anneau F. La vitesse diminue alors jusqu'à ce que les frotteurs cessent de fonctionner, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'elle ait repris sa valeur normale, pour réaugmenter à nouveau et ainsi de suite.

Le réglage de l'appareil pour une vitesse donnée s'obtient en déplaçant le disque *d* le long des tiges *c* et en tendant plus ou moins les ressorts *ee* à l'aide de l'écrou *m*.

Les figures 11 et 12 représentent une dynamo de 72 000 watts construite par la maison Willem Smit et Cie de Slikkeweer (Hollande) (1).

C'est une machine à 6 pôles capable de 600 ampères sous 120 volts. Les inducteurs sont en acier coulé à pièces polaires rapportées.

L'induit Paccinotti est à enroulement Gramme; il est monté sur une étoile à six branches en bronze; le circuit magnétique est constitué par des tôles de cinq dixièmes de millimètre. L'armature n'est pas clavetée sur l'arbre, mais emmanchée à force et maintenue par deux anneaux, comme le montre la figure 12.

L'enroulement induit est disposé dans 216 dents contenant chacune 6 fils de 8 millimètres de diamètre; les 6 lignes balais sont réunies par trois en quantité, chaque ligne comprend six balais de 1,2 cm² de section.

Les moteurs de M. C.-W. Aktinson (2) sont spécialement destinés à l'extraction du charbon ou des minerais quelconques. Ils sont disposés sur un chariot de façon à ce que l'axe du moteur soit légèrement incliné dans la direction de la voie sur laquelle se meut le chariot.

A l'extrémité de l'arbre C (fig. 13) est montée une vis sans fin D actionnant la roue dentée E, entraînant dans son mouvement, comme le montre la figure 14, le pignon I sur lequel passe la chaîne sans fin O, portant les couteaux N.

Le bras Q fixé à la table annulaire R, peut tourner autour de l'axe de la roue E à l'aide d'une vis tangente S s'engrenant dans les dents U placées sur le bord extérieur de cette table. La roue E et la vis D baignent dans l'huile. Le moteur et son collecteur sont complètement enveloppés par la caisse A, munie de deux fenêtres à l'endroit du collecteur pour pouvoir vérifier le bon fonctionnement des balais.

(1) *Engineering* du 16 avril 1897.

(2) Brevet auglais n° 3 796, 4 figures. Déposé le 19 février 1896, accordé le 19 décembre 1896.

Les dynamos ou moteurs de M. J.-T. Knowles (1) appartiennent au type assez peu répandu des machines à deux induits. Ceux-ci M N (fig. 15 et 16) identiques sont placés parallèlement l'un à l'autre. Le champ magnétique est disposé entre les deux induits et symétriquement par rapport à ceux-ci, et l'axe de la bobine inductrice est disposé perpendiculairement à ceux des induits de façon à utiliser, comme dans certaines machines Eickeymer, une partie du fer induit comme noyau des électro-aimants inducteurs.

La carcasse magnétique inductrice est complétée extérieurement par un anneau R portant intérieurement deux épanouissements polaires K. Les pièces polaires P indiquées en deux parties symétriques sur la figure 15 pourraient également être réunies entre elles si l'on voulait augmenter la distance entre les armatures.

F. Guilbert.

(1) Brevet anglais n° 18 364, 2 figures. Déposé le 19 août 1896, accordé le 18 juin 1897.

LES LOIS DE L'ÉLECTROLYSE A COURANT ALTERNATIF

1. Les recherches expérimentales sur le phénomème de l'électrolyse à courant alternatif ont été jusqu'ici plutôt qualitatives et se rapportent surtout aux conditions dans lesquelles le phénomène se manifeste.

J'ai exposé dans mon étude sur ce sujet (¹), outre l'historique de la question, une théorie qui permet d'expliquer exactement et simplement tous les résultats obtenus par l'expérience, cette théorie s'est trouvée confirmée par les recherches que j'ai faites il y a quelques mois, sur le décalage de phase entre la différence de potentiel aux bornes d'un voltamètre traversé par un courant alternatif, recherches qui ont été publiées dans cette revue (²).

Ces expériences m'ont suggéré l'idée de reprendre au point de vue quantitatif l'étude des lois de l'électrolyse à courant alternatif afin de rechercher si et comment les lois de Faraday sont modifiées par l'emploi d'un courant alternatif.

Je me réfèrerai dans cette étude à quelques-unes des expériences signalées et je rappellerai, ce qui est d'une certaine importance, que la fréquence du courant employé dans ces mesures était d'environ 20 périodes par seconde.

ÉLECTROLYTE A DÉPOT MÉTALLIQUE

2. La méthode la plus pratique consisterait évidemment à employer la balance, et à étudier un électrolyte dont un des éléments au moins est solide et adhère à l'électrode et qui en outre a la propriété (pour être d'accord avec la théorie) de ne donner lieu à aucun phénomène secondaire. Avec le sulfate de cuivre et des électrodes en cuivre électrolytique j'ai constaté une diminution du poids des électrodes elles-mêmes alors qu'il y avait lieu de croire qu'elles resteraient inaltérables. Avec une solution d'azotate d'argent ou de cyanure d'argent préparé par le procédé ordinairement employé pour l'argenture, j'ai obtenu en général des dépôts peu adhérents; une partie de l'argent formait alors un dépôt neigeux au fond du voltamètre et échappait ainsi à la pesée.

Le corps qui donnerait le meilleur résultat pour le but cherché est le chlorure d'or en solution aqueuse. Malheureusement la solution devant être très diluée présenterait une résistance telle que la différence de potentiel alternative dont je disposais pour mes essais aurait été insuffisante. En acidulant les solutions on introduirait l'électrolyse du dissolvant.

3. Je signalerai toutefois une des expériences faites avec le nitrate d'argent, laquelle permet de vérifier la théorie établie.

Les électrodes étaient des lames de platine non complètement submergées de façon à avoir une densité de courant uniforme. Elles étaient pesées avec les précautions ordinaires. Soient P_1 et P_2 les poids qu'il faut ajouter à une même électrode placée dans un des plateaux avant et après l'électrolyse pour rétablir l'équilibre de la balance dont l'autre plateau contient un poids fixe.

Plusieurs voltamètres étaient en série, contenant tous le même liquide et les électrodes se suivaient dans l'ordre indiqué dans le tableau donné page 256.

La quantité d'électricité qui a traversé chacun des voltamètres est la somme de celle qui a donné à la polarisation dans un sens ou dans l'autre sa valeur maxima et de celle qui détermine effectivement la décomposition réelle et permanente de l'électrolyte.

(¹) Voir *La Lumière Électrique*, t. XLVII, p. 451 et 610, 1893.

(²) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 13 et 110, 26 juin 10 juillet 1897.

Voltamètres.	Électrodes.	P_1	P_2	$P_1 - P_2$	Surface en mm².	$\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2}$	Argent déposé.	OBSERVATIONS
I	A	3,5880	3,5863	0,0044	34 × 9	0,00674	0,0094	Traces d'argent au fond du voltamètre.
	B	3.5976	3,5926	0,0050	32 × 9			
II	C	3,5526	3,5496	0,0030	30 × 9	0,00717	0,0066	Id.
	D	3,6564	3,6528	0,0036	32 × 9			
III	E	3,4858	3,4814	0,0044	31 × 9	0,00706	0,0076	Id.
	F	3,5908	3,5876	0,0032	32 × 9			
IV	G	3,1405	3,1352	0.0053	34 × 9	0,00644	0,0107	Id.
	H	3,1788	3,1734	0,0054	35 × 9			

La première partie varie seulement avec la surface des électrodes en restant directement proportionnelle à $\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2}$ (du moins en s'appuyant sur les recherches de Bartoli sur la polarisation) puisque toutes les électrodes et l'électrolyte sont de même nature dans les voltamètres.

La seconde partie au contraire s'obtient par le rapport $\frac{p}{e}$ du poids d'argent déposé à l'équivalent électrochimique de l'argent. La quantité d'électricité qui traverse chaque voltamètre est donc proportionnelle à :

$$K\left(\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2}\right) + \frac{p}{e}.$$

Prenant $e = 0{,}00112$, on a pour les valeurs de cette expression appliquée à chacun des voltamètres :

Voltamètre I : 0,00674 K + 8,39
» II : 0,00717 K + 5,89
» III : 0,00706 K + 6,78
» IV : 0,00644 K + 9,55

En égalant les deux premières expressions on trouve pour K la valeur 5 814 et leur valeur commune est 47,576.

En portant la même valeur de K dans l'expression précédente proportionnelle à la quantité d'électricité qui a traversé les voltamètres III et IV, on obtient les résultats résumés dans le tableau suivant :

Les deux premières différences sont naturellement nulles. Les deux autres sont de signe contraire et la seconde la plus grande en valeur absolue indique une erreur de 1,23 p. 100 dans l'appréciation de la quantité d'électricité, erreur inévitable étant donné les traces de dépôt d'argent au fond du voltamètre.

Voltamètre.	Quantité d'électricité.	Différence.
I	47,576	0
II	47,576	0
III	47,820	+ 0,244
IV	46,992	— 0,584

ÉLECTROLYTE A IONS GAZEUX

4. N'ayant pas à ma disposition un courant alternatif à intensité efficace suffisamment étendue pour me permettre de trouver les conditions les plus favorables à l'obtention de dépôt métallique adhérent aux électrodes, j'ai abandonné, provisoirement du moins, la méthode d'investigation précédente pour entrer dans un champ de mesure plus accessible, mais beaucoup moins précis, celui de la mesure des dégagements gazeux obtenus par l'électrolyse.

J'ai construit des voltamètres pour l'électrolyse de l'eau acidulée en fixant les électrodes de platine, formées tantôt par des fils tantôt par des lamelles, dans un socle en paraffine. Sur ce socle était ajusté un tube de verre formant ainsi des voltamètres cylindriques où la surface active des électrodes était très facile à mesurer.

Dans toutes les expériences, j'ai attendu, avant de faire la mesure des gaz mis en liberté et contenus dans la cloche de chaque voltamètre, un certain temps pour permettre au liquide de se saturer de gaz.

Dans une première série d'expériences résumée dans le tableau suivant, j'ai employé trois voltamètres à fils de platine immergés dans de l'eau acidulée par l'acide sulfurique avec différentes distances entre les fils et différents degrés de concentration :

TEMPS	VOLTAMÈTRE I		VOLTAMÈTRE II		VOLTAMÈTRE III	
	Volume des gaz dégagés.	Augmentation.	Volume des gaz dégagés.	Augmentation.	Volume des gaz dégagés.	Augmentation.
min.						
0	1.7	0	2,2	0	2.5	0
5	4,2	2,5	4,8	2,6	5,1	2,6
10	6.5	2,3	7,3	2,5	7,6	2,5
15	8,9	2,4	9,8	2,5	10,2	2,6
20	11,4	2,4	12,4	2,6	12,8	2,6

On voit que ces chiffres, malgré quelques différences attribuables à la difficulté d'apprécier exactement les surfaces des électrodes permettent d'énoncer les lois suivantes :

I. *Pour un même électrolyte, même à différents degrés de concentration, le pouvoir électrolytique du courant est constant le long du circuit contenant plusieurs voltamètres, pourvu que la surface active des électrodes soit égale pour tous, même lorsqu'on fait varier la distance des électrodes dans les différents voltamètres.*

II. *Dans chaque cas, toutes choses égales d'ailleurs, les quantités de gaz obtenues sont proportionnelles au temps pendant lequel passe le courant.*

5. Dans une seconde série d'expériences, j'ai cherché à mettre en évidence l'influence de la densité du courant. La dissolution était la même ainsi que la distance entre les électrodes, mais celles-ci avaient des surfaces différentes pour les différents voltamètres. La durée de l'expérience était de 30 minutes.

Les résultats obtenus ont été les suivants :

Voltamètre.	Surface des électrodes.	Volume des gaz dégagés.	OBSERVATIONS
	mm²	cm³	
I	9	37,8	Les électrodes sont des fils de platine de 7/10.
II	40	8,7	Les électrodes sont des lames de platine.
III	420	0	Les électrodes sont des lames de platine.

Cette expérience est très instructive à un autre point de vue que celui qui nous occupe ici. J'ai dit en effet dans mes précédents travaux sur l'électrolyse qu'on ne connaît pas encore la quantité d'électricité (que j'ai désignée par q_0) nécessaire pour polariser complètement l'unité de surface des électrodes pour un électrolyte donné. Cette valeur est implicitement comprise dans la constante K dont il a été parlé plus haut (§ 3).

On peut en effet déduire la valeur de q_0 de K en connaissant exactement le nombre d'alternances du courant pendant la durée du phénomène. En disposant de plus dans le circuit un voltamètre à électrodes assez grandes pour qu'il ne se produise aucun dégagement on aura, si le régime du courant est bien stable, un élément de contrôle.

6. J'ai également construit trois voltamètres aussi identiques que possible ; deux de ceux-ci A et B on été mis en dérivation et le troisième C en série avec le groupe des deux autres. Les quantités de gaz mises en liberté ont été pour une durée de 10 minutes du passage du courant :

Voltamètre A : 4,8 cm³
» B : 4,5 »
» C : 18,9 »

La loi de Faraday sur l'électrolyse à courant continu : savoir que les produits électrolytiques sont, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnels à l'intensité du courant, n'est donc pas exacte avec le courant alternatif.

Si l'on remplace le voltamètre C par un autre C′ dont les électrodes ont une sur-

***

face à peu près double de celle du premier, on obtient dans les mêmes conditions les résultats suivants :

Voltamètre	A :	5,2 cm^3
»	B :	5,2 »
»	C' :	12 »

En démontant le voltamètre C' j'ai pu constater que la surface de ses électrodes n'était pas exactement double de celle de A et B, la partie du platine noircie étant plus grande sur ceux-ci que sur C'. J'ai alors repoli toutes les électrodes en augmentant la longueur des fils du dernier voltamètre de plus que la quantité voulue ou du moins jugée telle. J'ai ainsi obtenu :

Voltamètre	A :	7,6 cm^3
»	B :	7,5 »
»	C'' :	13,8 »

On peut déduire de ceci :

III. — *La quantité de produits électrolytiques de l'électrolyse à courant alternatif est proportionnelle à l'intensité du courant* (*ou mieux au nombre de coulombs*) *pourvu que la densité de celui-ci sur les électrodes des différents voltamètres soit constante.*

7. J'ai fait ensuite quelques expériences comparatives en employant deux électrolytes donnant des ions gazeux. Le choix n'est pas, malheureusement, très large et j'ai écarté l'acide chlorhydrique parce que la solution de chlore est assez variable pour rendre les conclusions quantitatives un peu hasardeuses. Je me suis en général servi d'eau acidulée par de l'acide sulfurique et d'ammoniaque concentrée à laquelle, pour diminuer sa résistance, j'ai ajouté, selon l'ancienne règle de Hoffmann, une petite quantité de chlorure de sodium.

Une première expérience a été faite avec deux voltamètres dont les électrodes constituées par des lames de platine avaient une surface active de 64 mm^2. Le résultat obtenu au bout de dix minutes a été :

Gaz dégagés provenant de	H^2O :	4,4 cm^3
» »	H^3N :	17,6 »

MM. Maneuvrier et Chappuis dans leur étude sur l'électrolyse ont montré que à la quantité de gaz mise en liberté dans l'électrolyse de l'eau par courant alternatif, il manque environ un tiers de la quantité d'oxygène. Si l'on tient compte de ce résultat, les 4,4 cm^3 obtenus sont le $\frac{8}{9}$ du volume des gaz décomposés, ce dernier est donc de 4,95 cm^3. Une correction analogue ne doit pas être faite pour l'évaluation du volume des gaz réellement mis en liberté dans la décomposition de AzH^3 ; car ni H, ni Az n'ont une grande affinité chimique. En tenant compte de ce que les rapports des volumes dans le cas de l'électrolyse à courant continu seraient respectivement 3 et $2 + \frac{2}{3}$, on voit que les valeurs actuelles 4,95 et 17,6 ne permettent pas d'affirmer que la troisième loi de Faraday est exacte pour des courants alternatifs.

D'un autre côté, les maxima de la polarisation dans les 2 voltamètres sont de 2 volts et de 1,97 volt, valeurs approximatives tirées des recherches de Bartoli. La petite différence entre ces valeurs ne peut évidemment servir d'explication à la différence qui existe entre les résultats obtenus avec le courant alternatif et ceux qu'on obtiendrait avec le courant continu. Il y a donc une autre raison, sans toutefois exclure un certain effet de la précédente ; la vraie cause est la différente *capacité finale*, c'est-à-dire la différente quantité d'électricité emmagasinée dans les électrodes pour établir les polarités successives et de sens opposés. Cette quantité d'électricité (q_0) ne prend aucune part à la production des ions mis en liberté.

8. Parmi les autres expériences faites, trois ont un intérêt particulier. Dans la première le voltamètre à AzH^3 avait des lames de platine d'une surface de 64 mm^2 tandis que celui à H^2O avait des électrodes constituées par des fils de platine d'une surface d'environ 10 mm^2. Ces appareils ont donné les résultats suivants :

Gaz mis en liberté provenant de	H^2O :	8,5 cm^3
» »	AzH^3 :	10,5 »

J'ai ensuite interchangé les liquides dans les deux voltamètres, le dégagement de gaz correspondant au voltamètre à AzH^3 a été très grand, tandis qu'il manquait totalement dans celui H^2O.

En troisième lieu, laissant au voltamètre à AzH^3 les électrodes de 64 mm^2 de surface, j'ai diminué celles de l'appareil à eau acidulée jusqu'à une valeur d'environ 5 mm^2. J'ai alors obtenu

Gaz dégagé provenant de H^2O : 11,6 cm^3
» » AzH^3 : 8,6 »

Il est donc possible avec un courant alternatif d'intensité donnée de faire varier arbitrairement la quantité de produits électrolytiques mise en liberté dans différents voltamètres contenant des électrolytes divers en faisant varier convenablement la densité de ce courant.

INTERPRÉTATION THÉORIQUE DES RÉSULTATS NOUVEAUX

9. Je vais essayer maintenant de rechercher s'il n'est pas possible d'expliquer théoriquement les résultats précédents. Je rappelerai tout d'abord que j'ai établi [1] que la quantité de produits qu'on peut obtenir avec un courant alternatif dans un voltamètre à électrodes égales, inattaquables par le liquide et par les produits de sa décomposition, peut s'exprimer par

$$p = \Theta ne\,(Q - 2\,sq_0)$$

où Θ est la durée du phénomène en seconde, n le nombre d'alternances par seconde, e l'équivalent électrochimique de l'électrolyte, Q la quantité d'électricité qui traverse le voltamètre à chaque alternance, s la surface de chaque électrode, q_0 la quantité d'électricité nécessaire pour amener la polarisation maxima de l'unité de surface des électrodes

Tous les éléments de la formule précédente, sauf q_0, sont connus. Comme on ne peut déterminer en poids, ou en volume, la quantité de produits dégagés, la formule précédente permet de constater uniquement que :

1° L'énoncé donné au § 6 (les quantités de produits obtenus dans un voltamètre sont proportionnelles à l'intensité du courant (dans le sens de Faraday), pourvu toutefois que la densité du courant sur les électrodes reste constante) est contenu, tout entier, dans la formule précédente.

2° La théorie prévoit qu'en maintenant constantes pour 2 voltamètres les quantités Θ, n, Q et s, les quantités de produits obtenues ne sont pas entre elles comme les valeurs de e, parce que la quantité d'électricité nécessaire pour *saturer* l'unité de surface des électrodes n'est pas indépendante de la nature de l'électrolyte. On sait, en effet, que l'indépendance n'a lieu pour 2 voltamètres à électrolytes différents que lorsqu'il s'agit des *capacités initiales*, c'est-à-dire donnant une charge minima.

3° Si dans deux voltamètres en série on laisse l'un fixe, et si l'on modifie dans l'autre, contenant le même électrolyte ou un électrolyte différent, la surface des deux électrodes égales, le rapport des quantités de produits obtenus, en volume ou en poids, varie aussi en suivant la formule. En particulier si la surface des électrodes de l'un des deux voltamètres est diminuée continuellement, la quantité de gaz mise en liberté dans le même temps va en augmentant.

Cet accord constant entre la théorie et l'électrolyse permet donc d'énoncer la loi suivante qui remplacera la loi analogue de Faraday pour l'électrolyse à courant continu :

IV. *La quantité de produits électrolytiques obtenue dans divers voltamètres parcourus par un même courant alternatif, est en raison composée des équivalents électrochimiques, des électrolytes et de la différence entre la quantité d'électricité qui traverse le circuit pendant chaque demi-période et le double de celle qui est nécessaire pour saturer les électrodes.*

[1] Voir *La Lumière Électrique*, loc. cit., 1893.

CONCLUSIONS

10. Le phénomène de la décomposition électrolytique obtenue par le passage d'un courant alternatif est donc complètement étudié dans le cas où il n'est accompagné d'aucune action secondaire dans le voltamètre.

Dans mon étude sur l'électrolyse [1], j'ai simplement tenté de coordonner les faits observés, principalement en ce qui concerne les conditions de possibilité du phénomène. La formule que j'avais alors établie pour exprimer la quantité de produits mise en liberté et qui permettait d'interpréter les résultats connus peut, comme on vient de voir, servir également pour expliquer les expériences précédentes. Cette formule, qui ne contient aucune restriction sur l'existence d'une action secondaire, exprime donc tous les résultats obtenus et les lois qui se rapportent au phénomène étudié.

Dr Riccardo MALAGOLI,
Modène (Italie).

LES VOITURES AUTOMOBILES DANS LES CHEMINS DE FER

L'automobilisme, avec ses besoins immédiats, a donné un nouvel essor à la fabrication des petits moteurs à vapeur, à pétrole, etc., qui avait un instant fléchi devant l'aurore naissante des moteurs électriques.

Le tourisme marche, et marche vite, et les ingénieurs électriciens, pour adapter leurs moteurs aux nouveaux véhicules automobiles, ont été en effet pris de court, faute de disposer un type d'accumulateur excessivement léger qui puisse emmagasiner une quantité notable d'énergie pour permettre de parcourir de longues routes, au hasard du caprice, au gré du besoin.

Et les moteurs à vapeur et à pétrole, de prendre un peu l'avance sur leurs frères puînés !

Mais le dernier mot n'est pas dit : le moteur électrique, avec ses avantages incontestables, demeure l'objectif de tous les constructeurs ; et son application trouvera bientôt à se généraliser, en même temps que les usines électriques se dissémineront un peu partout, permettant ainsi aux touristes d'échanger facilement leurs accumulateurs au bout d'étapes assez courtes.

Déjà sur les lignes de chemins de fer on escompte les services que pourront rendre les automobiles ; on est même entré dans la voie de l'application.

C'est la Compagnie du Nord qui tient le record de l'expérience en cette matière, et il est intéressant de voir déjà se dessiner la part qui reviendra aux moteurs thermiques et aux moteurs électriques.

Nous ne pouvons mieux faire, à cet égard, que d'indiquer le programme qui a été tracé par M. Sartiaux, ingénieur en chef des Ponts et chaussées, l'éminent directeur de l'exploitation de cette Compagnie.

PROGRAMME GÉNÉRAL

Les voitures automobiles mises en construction par la Compagnie du Nord sont de deux types : le premier comprend un simple compartiment de 2e classe à 12 places, et le second plusieurs compartiments comportant un total de 50 places, dont 8 de 1re classe, 12 de 2e classe, 30 de 3e classe et de plate-forme, avec une galerie qui, comme celle des omnibus, permet le transport de quelques bagages.

Premier Type. — Le premier type comporte deux modèles, l'un avec moteur à vapeur du système Serpollet, l'autre avec moteur électrique, la source d'énergie étant portée par la voiture elle-même (accumulateur).

[1] *La Lumière Électrique*, loc. cit.

Ce premier type est, en principe, destiné au transport des dépêches postales et doit permettre à la Compagnie d'éviter de mettre en circulation, à des heures trop matinales ou trop tardives, des trains dont les horaires, fixés pour les besoins de l'administration des Postes, ne correspondent en aucune façon aux besoins des voyageurs. Ces trains seraient, par suite, déplacés et reportés dans la journée à des heures beaucoup plus convenables pour le public.

Ces voitures pourront circuler seules avec l'agent postal accompagné seulement de l'agent de la Compagnie (électricien ou mécanicien) qui conduit la machine, lorsqu'elle ne prend pas de voyageurs ; elles pourront, dans quelques cas, et elles sont construites à cet effet, remorquer un ou deux véhicules lorsque l'expérience montrera, soit qu'un certain nombre de voyageurs peuvent utiliser ces trains à horaires un peu excentriques, soit qu'on peut utiliser ces horaires pour le transport des messageries à acheminer d'urgence.

Il y a lieu d'ailleurs de remarquer que les voitures postales électriques ne peuvent être utilisées que là où existent des usines électriques, mais qu'elles présentent l'avantage considérable de pouvoir entrer, comme des voitures ordinaires, dans la composition des trains, tandis que, si la voiture postale à vapeur peut circuler partout, elle ne peut être intercalée dans les trains.

Deuxième type. — Le deuxième type, étudié pour le transport des voyageurs, est exclusivement électrique. Il est destiné à assurer différents services.

I. Le service de trains-tramways temporaires qui existent en certains points, comme en été, pendant la saison balnéaire (autour du Tréport, Boulogne, etc.).

II. Le service de trains-tramways permanents, d'une importance secondaire, à créer, par exemple, autour d'une grande ville et ne justifiant pas le déplacement d'une machine à vapeur.

III. Les services restreints de trains légers, soit de lignes secondaires, soit de lignes principales. Il arrive, en effet, que des trains sur des embranchements ou sur la ligne principale effectuent inutilement le trajet total entre deux gares de bifurcation, quoique le train soit à peu près inutile sur une partie du parcours, et cela à cause des difficultés pour mettre la machine de tête en queue, la tourner, etc.

La voiture automobile électrique permettra de s'arrêter à une gare quelconque du parcours et de revenir sans faire de manœuvres, grâce à la liaison des voies principales qui existe dans toutes nos gares.

L'emploi de la voiture automobile électrique permettra probablement d'alléger d'un grand nombre d'arrêts certains trains à marche souvent lente et qui deviendront trains à marche rapide. Quelques trains ont en effet, actuellement, par suite des nombreux centres à desservir, une marche commerciale relativement faible. On intercalera dans ces trains, comme voiture ordinaire, une voiture automotrice qui sera détachée à l'un des points d'arrêt qui ne peuvent être évités. La voiture automotrice continuera ensuite isolément, desservant les centres moins importants.

Les voitures électriques sont en construction; quant à la voiture à vapeur du 1er type, du système Serpollet, elle est en service depuis quelque temps déjà.

AUTOMOBILE POSTALE, SYSTÈME SERPOLLET

La voiture est portée sur deux essieux distants de 2,84 m d'axe en axe. L'avant est occupé en partie par le régénérateur vertical Serpollet, en partie par le mécanicien, qui a, rassemblés sous sa main, les leviers et volants lui permettant de régler à son gré la marche de la voiture, savoir : le régulateur, le changement de marche, les freins Westinghouse et à vis, et la pompe.

Les cylindres sont placés sous les longerons des châssis, sensiblement à égale distance des deux essieux.

Les pistons actionnent les roues d'avant par l'intermédiaire de bielles et manivelles. Le combustible est à portée du mécanicien. L'eau, emmagasinée dans une caisse située à l'arrière, est refoulée d'une manière continue dans le générateur par le moteur lui-même.

L'arrière de la caisse de la voiture présente, outre le compartiment réservé pour l'agent de la poste, et qui est en communication directe avec le mécanicien, un compartiment pouvant contenir 12 places.

Les dimensions et données principales de la voiture sont les suivantes :

	Surface de grille. . . .	0,46 m²
	— de chauffe . . .	11,13 —
	Timbre	94 k
	Diamètre des cylindres.	180 mm
	Course des pistons. . .	250 —
	Pression maxima . . .	20 k
	Diamètre des roues . .	0,955 m
	Chargement en charbon.	500 k
	— en eau. . .	500 l
Répartition des poids.	Essieu d'avant.	9 070 k
	— d'arrière	5 700 k
	Total	14 770 k

Effort maximum théorique de traction :

$$F = \frac{P\,d^2 l}{D} = 1\,700 \text{ k}$$

Le générateur est en quelque sorte inexplosible; il est en effet essayé et timbré à 94 kgr par centimètre carré, alors qu'il fonctionne habituellement à une pression de 4 à 8 kgr, exceptionnellement 20 kgr; de plus, il ne contient pas d'eau.

L'absence de tous les appareils dits « de sécurité », ordinairement employés sur les chaudières à vapeur, rend presque inutile toute surveillance à l'agent chargé de la conduite, qui peut ainsi consacrer toute son attention à l'examen de la voie et des signaux.

On n'a pas à se préoccuper de l'alimentation de la chaudière, la machine étant pour ainsi dire autorégulatrice et se chargeant d'envoyer elle-même au générateur la quantité d'eau qui doit produire la vapeur nécessaire au travail à effectuer.

L'appareil, pouvant fonctionner avec des pressions très variées, permet de donner en cas de besoin des « coups de collier ».

La simplicité de l'ensemble, générateur et moteur, permet de confier le système à un agent sans grande instruction spéciale.

Enfin, la vapeur d'échappement, étant encore à une température très élevée, est invisible et ne produit aucun panache. C'est là un avantage qui peut avoir une certaine importance pour la traversée des gares et des villes.

Il résulte de là qu'il n'y a aucun inconvénient à confier la machine à un seul agent au lieu de deux.

Une décision ministérielle, en date du 3 août 1897 (instruction réglant le service des voitures automobiles), a sanctionné ce mode d'exploitation.

La voiture automobile système Serpollet fait le service postal sur la ligne de Creil à Beauvais, dont le profil en long ne comporte pas de déclivités supérieures à 0,004.

Les itinéraires sont indiqués ci-dessous.

La consommation moyenne a été :

de 7 litres d'eau;

de 2 kgr de briquettes.

Des essais ont été faits en vue de l'utilisation ultérieure de cette voiture aux services indiqués dans le programme général.

I. — Creil a Beauvais

DISTANCE entre les stations.	STATIONS	ARRIVÉE	DÉPART
km		heures	heures
»	Creil	»	3,40 matin
2,9	Montataire . . .	3,45 matin	3,46 —
2,3	Cramoisy	3,51 —	3,52 —
4,1	Cires-les-Mello .	4,00 —	4,1 —
3,2	Balagny-St-Epin.	4,8 —	4,9 —
3,1	Mouy	4,16 —	4,17 —
4,6	Heilles-Mouchy.	4,26 —	4,27 —
2,7	Hermes	4,33 —	4,34 —
7,1	Rochy-Condé . .	4,47 —	4,48 —
7,1	Beauvais	5,2 —	»

II. — Beauvais a Creil

DISTANCE entre les stations.	STATIONS	ARRIVÉE	DÉPART
km		heures	heures
»	Beauvais	»	11,15 soir.
7,1	Rochy-Condé . .	11,30 soir.	11,30 —
7,1	Hermes.	11,45 —	11,46 —
7,3	Mouy.	Minuit.	Minuit 1
15,6	Creil	Minuit 30	»

Les premiers ont eu lieu le 24 mai dernier.

On attelé à la voiture automobile 3 voitures dont 2 lestées; le poids total du train était de 43,500 tonnes.

Le train a parcouru la ligne de Creil à Beauvais; le trajet a duré 54′30″, faisant ressortir une vitesse moyenne de 40,8 km à l'heure. La vitesse a atteint à un moment donné 52 km; elle s'est maintenue à 50 pendant plus de 3 km.

Une des voitures a été ensuite retirée du train dont la charge n'était plus que de 36,500 tonnes. Le train a alors parcouru la ligne de Beauvais à Paris par Montsoult, dont le profil est très accidenté. Il a franchi à une vitesse moyenne de 18 km une rampe de 0,0131 qui s'étend sur 5,52 km.

Une deuxième série d'essais a eu lieu le 26 juillet 1897 entre Paris et Beauvais par Montsoult.

Le train d'essai avait la composition suivante :

Voiture Serpollet.
1 Salon
1 Fourgon.

Le poids total du train était de 36,250 tonnes.

Le trajet s'est effectué en 1 h. 54 y compris 12′ d'arrêt à Beaumont.

La vitesse moyenne a été de 47,2 km entre Paris et Beaumont, de 45,4 km entre Beaumont et Beauvais, soit entre Paris et Beauvais (déduction faite de l'arrêt de Beaumont) de 46,2 km.

La consommation par kilomètre a été :

Briquettes	2,5 k
Eau	9,5 l

VOITURES ÉLECTRIQUES

Voiture postale. — Premier type. — La voiture automotrice électrique, dite postale, construite par la Compagnie du Nord en 1897, comporte un compartiment à 12 places et une chambre pour abriter le mécanicien-conducteur et les appareils de manœuvre et de mesure.

Cette voiture est à deux essieux et actionnée par une dynamo calée directement sur l'essieu d'arrière. Le collecteur de cette machine est disposé à l'intérieur de la chambre du mécanicien, à côté des appareils de manœuvre.

L'énergie est fournie par une batterie d'accumulateurs logée dans une caisse suspendue entre les essieux, sous les longerons. Il sera possible d'augmenter éventuellement cette batterie en ajoutant des éléments dans deux coffres qui ont été ménagés au-dessus du plancher de la voiture, l'un à droite du mécanicien, l'autre à gauche.

Le poids de cette voiture en marche est de 15 540 kgr répartis comme suit :

Châssis et caisse	5 365 kgs
2 essieux avec roues	1 700 —
Moteur électrique.	1 825 —
Collecteur	650 —
Appareils de manœuvre. . . .	300 —
Accumulateurs	3 800 —
Voyageurs et conducteur. . .	900 —
Total.	15 540 kgs

L'inducteur de la dynamo motrice est à 4 pôles.

Il est calé directement sur l'essieu d'arrière, tandis que l'induit est suspendu sur le même essieu par l'intermédiaire de 2 boîtes à graisse spéciales.

Pour empêcher l'induit de tourner, il est retenu par deux bielles horizontales articulées et reliées à une traverse du châssis de la voiture.

L'effort moyen développé par cette dynamo à la circonférence des roues est de 160 kgr en moyenne, mais peut s'élever jusqu'à 285 kgr au démarrage. Des essais ont montré que ces efforts correspondent à 0,80 kgr par ampère lancé dans l'armature. Le courant correspondant à l'effort de 160 kgr est par suite de 200 ampères. La batterie étant capable de donner une tension de 80 volts, la puissance utile est de 20 à 22 chevaux pouvant s'élever à 38 chevaux au moment du démarrage.

Le collecteur est complètement séparé de la dynamo et mis en mouvement par un petit moteur spécial synchrone du moteur spécial. Cet appareil se trouvant disposé sous la main du mécanicien, peut facilement être conduit et surveillé pendant la marche de la voiture.

Ces appareils sont placés sur une table devant le mécanicien ; ils comprennent :

1 interrupteur bipolaire pour la charge de la batterie ;

1 interrupteur bipolaire pour la décharge de la batterie (ces deux interrupteurs sont enclenchés entre eux) ;

1 interrupteur bipolaire pour l'excitation séparée de l'inducteur ;

1 commutateur de changement de marche enclenché avec un commutateur commandant un rhéostat de démarrage disposé sur le toit de la voiture ;

Les divers appareils de mesure habituels.

Enfin, le mécanicien a à sa disposition un frein à main, et une trompe à longue course du type de celle employée sur les tramways.

La batterie placée sous le châssis est de 40 éléments à 9 plaques 400/400 du type de la Société pour le Travail Electrique des Métaux, avec bacs en ébonite. Ces 40 éléments sont placés dans une caisse susceptible d'être complètement sortie en dehors de la voiture pour visiter les éléments. A cet effet, la caisse est munie à chaque extrémité d'un fer en [qui, lorsque la caisse est sous la voiture vient s'appuyer sur deux crochets solidement fixés sous le châssis de la voiture. Des verrous sont disposés pour empêcher tout déplacement de cette caisse pendant la marche.

Lorsqu'on veut sortir la caisse, la voiture est amenée au-dessus d'une traversée de voie rectangulaire. Un chariot spécial muni de vérins passe sous la caisse et la soulève légèrement pour la dégager de ses supports, puis l'entraîne sur la voie transversale hors du dessous de la voiture. La batterie est remise en place en effectuant les manœuvres inverses.

Les marchepieds peuvent se relever contre les longerons pour laisser passer la caisse des accumulaleurs.

Eventuellement, il sera possible de loger dans le coffre placé à gauche du mécanicien une caisse contenant 12 éléments semblables aux précédents et dans le coffre de droite une caisse n'en contenant que 6. Le nombre total d'éléments pourra donc être au besoin porté à 58. Dans ces conditions, le poids en ordre de marche indiqué plus haut serait augmenté de 2 200 kgr, mais alors la puissance disponible, atteindrait 30 à 32 chevaux en moyenne et 54 chevaux au démarrage.

Les signaux d'avant, de même que ceux d'arrière, sont au nombre de trois et sont éclairés électriquement.

Le compartiment des voyageurs est lui-même éclairé par deux lampes à incandescence.

Deux autres lampes éclairent l'une la table des appareils de manœuvre, l'autre le reste de la chambre du mécanicien.

Voiture à 50 places. — Deuxième type. — La voiture automotrice à 50 places est projetée suivant les données ci-après :

Voiture, caisse et roues	12 000 kgs
Voyageurs : 50 à 70 kgs	5 500 —
Bagages (maximum).	500 —
Moteur et accessoires	2 600 —
Accumulateurs et accessoires .	5 500 —
Poids total en ordre de marche.	24 100 kgs

Les moteurs, de même que les accumulateurs, seront du même type que les appareils similaires de la voiture à 12 places.

Nous ferons connaître ultérieurement les essais qui vont être entrepris avec ces automobiles.

Bartel TROMIEU.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Relais polarisé Willot.

Cet appareil est une modification des relais télégraphiques très sensibles du même inventeur. Elle est caractérisée par une combinaison particulière de deux champs magnétiques permanents dont l'action du courant de réception fait varier la distribution.

Les bobines sont placées sur deux noyaux en fer doux présentant, comme dans plusieurs relais antérieurs, des appendices polaires A, B et C, D (fig. 1) entre lesquels se meuvent deux armatures rendues solidaires d'un même axe. Les noyaux sont réunis à leurs extrémités par des culasses E et F, cette dernière étant toutefois séparée des pôles par une lame non magnétique *f* en cuivre. Des vis en fer doux U et U_1 permettent de régler la distance entre les pôles A et B et l'une des armatures.

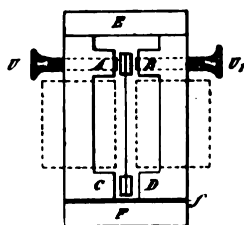


Fig. 1. — Relais Willot.

Ce système, qui forme en somme un circuit magnétique fermé sur lui-même, sauf un petit entrefer *f*, est placé dans le champ d'un aimant permanent NS (fig. 2). Nous avons représenté par des lignes pointillées le parcours des lignes de force. L'électro-aimant forme par rapport à l'aimant permanent un shunt dans lequel toutes les dérivations magnétiques sont de même sens et développent par conséquent sur les appendices polaires A et C des pôles nord, et sur B et D des pôles sud. Les deux armatures sont elles-mêmes polarisées de noms contraires N et S par un second aimant permanent qu'il faut se figurer dans le plan normal au papier passant par l'axe du premier aimant. On voit donc que l'armature est, à l'état de repos, soumise à deux forces contraires que l'on peut rendre égales malgré la différence d'intensité des pôles A et C en réglant la distance des pôles A et B à l'aide des vis U et U_1 vues dans la fig. 1.

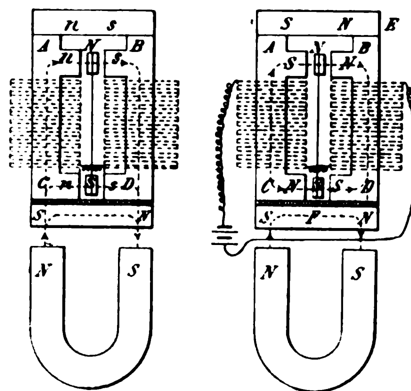


Fig. 2 et 3. — Relais Willot. Distribution du champ.

La fig. 3 représente la distribution du champ au moment où un courant de travail passe dans les bobines. L'effet de ce courant, s'il a une intensité suffisante, est de neutraliser le champ dérivé de l'aimant et de créer un champ propre produisant des polarités contraires sur les appendices de chaque noyau. Les armatures obéissant alors à deux forces de même sens sont attirées d'un côté ou de l'autre.

Le retour à l'état de repos se fait très rapidement, grâce à l'action de l'aimant permanent qui devient prépondérante dès la cessation du courant.

La fig. 4 est une élévation latérale de l'appareil. L'électro-aimant avec ses bobines J et J_1 est disposé horizontalement. On voit en E l'une des culasses et en U et U_1 les vis en fer doux formant la partie axiale des appendices A et B. L'axe X des armatures porte à ses extrémités deux vis dont les

pointes pivotent, l'une dans un trou conique, l'autre dans une rainure à section triangulaire. Le mouvement de l'axe des armatures est limité par deux vis de contact V et V_1, montées dans des supports V_3, et entre lesquelles se meut un bras de levier L fixé au milieu de l'axe des armatures. Au milieu de ce levier s'attachent deux ressorts à boudin R et R_1 dont l'autre extrémité est assujettie à un cordon de soie qui s'enroule sur une tige verticale munie d'un bouton TT_1, disposition servant à régler à volonté la tension des ressorts. On voit en M l'extrémité supérieure de l'aimant qui polarise les armatures.

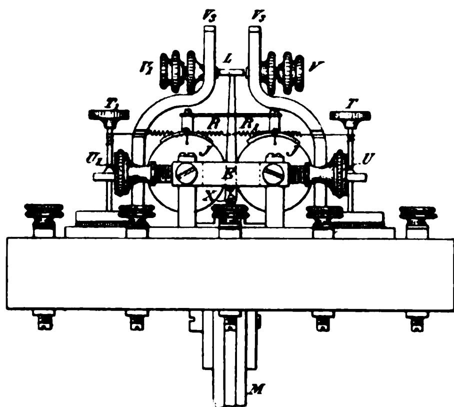


Fig. 4. — Elévation latérale du relais.

Cette disposition particulière des parties magnétiques de l'appareil permet de rendre celui-ci insensible à des courants d'une intensité inférieure à un certain minimum que l'inventeur a choisi égal à un milli-ampère. Le relais est ainsi soustrait à l'influence des courants terrestres et des décharges résiduelles des câbles, de même qu'il n'est pas affecté par l'hystérésis, l'état de repos laissant subsister un champ directeur.

Ce relais est destiné à fonctionner sur des câbles sous-marins de 1 000 à 2 000 km de longueur, à raison de 2 000 à 2 500 émissions de courant par minute. A. H.

Régulation de l'éclat des lampes à incandescence, procédé W. Emmott [1].

Les lampes L, L,.., étant alimentées par du courant alternatif, l'inventeur emploie, pour graduer leur intensité, 3 bobines de réactance 3, 4, 5 disposées comme l'indique le schéma de la figure 1. Le commutateur I dont l'axe est relié au pôle + de la source peut occuper à volonté les quatre positions indiquées par les touches *a*, *b*, *c* et *d*. Il est facile de voir en suivant les circuits qu'il suffira de le déplacer de *a* à *d* pour mettre 3, 2, 1 ou point de bobines dans le circuit des lampes, suivant les effets que l'on veut produire.

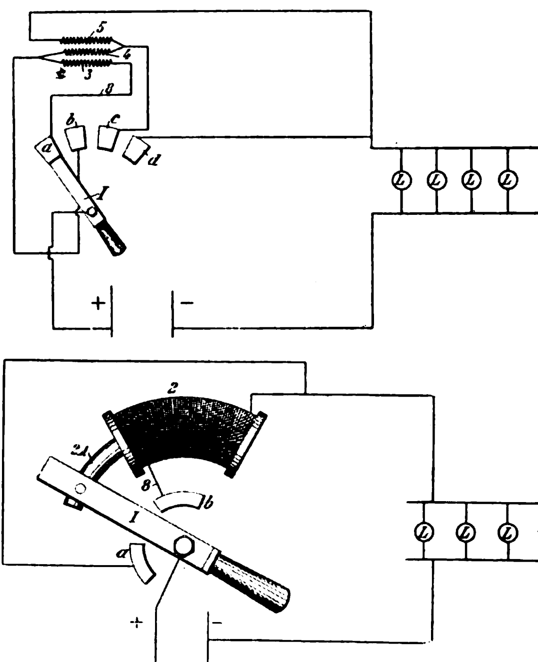


Fig. 1 et 2. — Régulateur électrique Emmott.

Le dispositif de la figure 2 semble encore plus apte à obtenir une meilleure graduation de la lumière. Les spires du solénoïde d'impédance 2 sont traversées par un noyau 2A solidaire du commutateur I. On peut donc, suivant la position que l'on donne à ce dernier, ne mettre qu'une ou plusieurs spires dans le

[1] Brevet anglais n° 21 236, demandé le 25 septembre 1896, accepté le 19 juin 1897.

circuit des lampes. L'éclat de ces dernières est normal quand I occupe la touche *a*.

L. D.

Conductivité des filaments de charbon incandescents ;

Par John W. Howell [1].

En 1887, le professeur Anthony avait observé le fait anormal d'un changement de signe du coefficient de température de la résistance des filaments de lampes à incandescence ; mais il n'avait pu en déterminer les causes [2]. M. E. Thomson avait eu également l'occasion de constater ce fait avec certaines lampes.

Il y a quatre ans, un inventeur offrit à la General Electric C° un procédé pour recouvrir les filaments de charbon d'une couche de métal, prétendant améliorer ainsi les filaments. Le revêtement métallique était obtenu par un procédé semblable au nourrissage, en portant le filament à un haut degré d'incandescence au sein de la vapeur d'un liquide foncé très épais. La preuve donnée de l'existence du dépôt métallique était le fait que la résistance de ces filaments était moindre au rouge qu'à des températures plus élevées.

Pour vérifier ces assertions, l'auteur a traité un certain nombre de filaments avec le liquide en question et un certain nombre d'autres avec de la gazoline. A sa surprise, la résistanee de ces derniers filaments augmentait également après avoir dépassé la

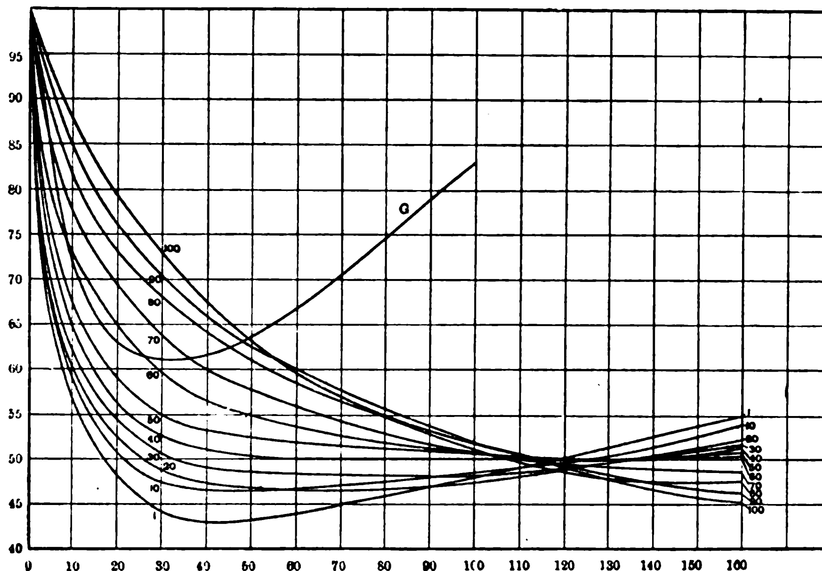


Fig. 1. — Courbes des variations de résistance des filaments de lampes avec le voltage et la température.

température du rouge sombre. Les courbes données par des filaments non nourris n'avaient jamais manifesté cette particularité. Aussi l'auteur prépara-t-il, pour approfondir cette question, une série de filaments qui reçurent des degrés différents de nourissage caractérisés par leur diminution de résistance plus ou moins considérable. Partant de filaments tous de même résistance initiale, on en fit par le nourrissage une série dont les résistances n'étaient plus que les 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 p. 100 de la résistance initiale à froid.

Les mesures de résistances aux différentes températures ont fourni les courbes (fig. 1), dont les abscisses représentent les voltages exprimés en pour cent du voltage correspondant à 3 watts par bougie, et les ordonnées

---

[1] Communication faite à l'American Institute of Electrical Engineers.

[2] *La Lumière Électrique*, t. XXV, p. 39. 1887.

les résistances en pour cent de la résistance à froid.

On voit que la résistance du filament brut (100) va constamment en décroissant. Celle du filament légèrement nourri (90) décroît d'abord plus rapidement et ensuite moins vite que celle du filament brut. Pour le filament nourri jusqu'à la réduction de moitié de sa résistance à l'état brut, on voit que la courbe tend vers une constante. Enfin, les filaments ayant reçu un nourrissage encore plus abondant présentent tous un minimum de résistance correspondant à un voltage d'environ 50 p. 100 du voltage normal. La courbe la plus accusée à ce point de vue, marquée 1 sur la figure, a été obtenue avec un filament dont le nourrissage avait abaissé la résistance jusqu'à 1 p. 100 de sa valeur initiale, et qui pouvait être considéré comme étant entièrement formé de charbon déposé au rouge.

Il est à remarquer que ces courbes peuvent être reproduites un grand nombre de fois avec les mêmes filaments, ce qui indique qu'il n'y a pas de changement d'état permanent. La résistance à froid mesurée après l'expérience est la même qu'avant.

Les mêmes filaments chauffés dans un four électrique dont la température pouvait être réglée exactement ont fourni les mêmes variations générales de résistance.

Tous les filaments bruts, quelle qu'en fût l'origine (bambou, soie, coton, etc.), que l'auteur a essayés se sont comportés normalement, c'est-à-dire avaient un coefficient de température toujours négatif.

Pour les filaments nourris, le minimum de résistance n'était accompagné d'aucune variation correspondante de l'émissivité ou de la dilatation thermique.

On considère d'habitude le charbon déposé par le nourrissage comme une variété de graphite; d'autre part, Edison avait fait en 1881 quelques filaments avec du graphite pur comprimé. L'auteur a réussi à se procurer un filament de cette fabrication; les résultats qu'il a fournis sont représentés par la courbe G montrant que le graphite pur se comporte précisément comme le carbone déposé dans l'opération du nourrissage. Le passage de la courbe G à un minimum de valeur supérieure à celle des autres courbes peut être attribué à des différences de structure, mais aussi au manque d'homogénéité du filament dont certaines parties s'échauffaient plus rapidement que les autres.

A. H.

Essais de lampes à incandescence de 220 volts;

Par G.-D. SHEPARDSON (1).

Ces essais ont été effectués sur les lampes provenant de quatre fabricants différents; chaque fabrication était représentée par plusieurs lampes; trois de ces lots furent achetés au détail chez des appareilleurs et peuvent, par conséquent, être pris comme représentant la qualité moyenne des lampes fournies aux abonnés; le quatrième lot fut demandé directement au fabricant en vue des essais; détail typique, un cinquième fabricant — dont les réclames annoncent des résultats mirifiques — refusa d'envoyer de ses lampes, sous prétexte qu'il ne pouvait déjà pas satisfaire à toutes les importantes commandes de sa nombreuse clientèle (style commercial).

Cinq lampes de chacune des marques A, B, C, D, furent essayées; trois furent placées verticalement; une horizontalement avec le filament dans un plan vertical; une horizontalement avec le filament dans un plan horizontal. Elles furent toutes maintenues en circuit continuellement sous une différence de potentiel égale à celle marquée par le fabricant sur la lampe. Toutes les nuits, on prenait les mesures électriques et photométriques; l'auteur n'indique pas comment celles-ci ont été prises.

L'ensemble des résultats obtenus est représenté par les courbes ci-jointes (fig. 1 et 2).

(1) Communication faite à la *Mathwestern Electrical Association*, réunion de La Crosse, 21 juillet 1897.

Comme on voit, la puissance lumineuse des lampes commence par baisser rapidement, puis se maintient ensuite pendant très long-

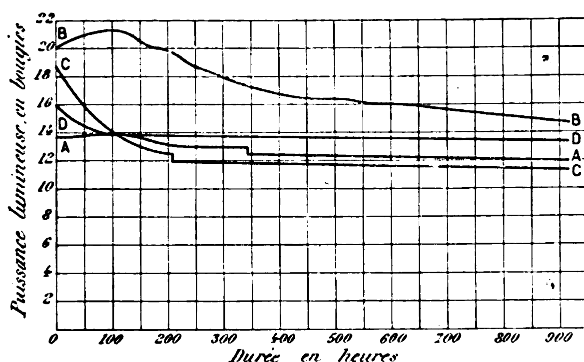


Fig. 1. — Variation de puissance lumineuse des lampes en fonction du temps.

temps avec une régularité remarquable, bien qu'à une valeur assez éloignée de la valeur nominale de 16 bougies. Les essais ont été arrêtés au bout de 920 heures, mais les lampes

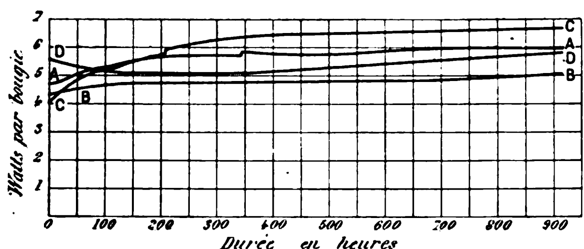


Fig. 2. — Variations de la consommation spécifique des lampes en fonction du temps.

auraient pu durer encore plus longtemps; M. Shepardson dit « indéfiniment ».

Les essais semblent indiquer une assez grande irrégularité dans la solidité. Ainsi, 12 lampes D furent achetées : 6 à un agent, 6 à la fabrique même; 4 se brisèrent en route et 2 brûlèrent sitôt en circuit; mais si elles résistent pendant dix minutes, on peut être certain qu'elles dureront au moins mille heures. Ceci ne s'applique qu'aux lampes suspendues verticalement; lorsque les lampes sont placées horizontalement, il y a avantage à placer le filament dans un plan vertical; ce filament, beaucoup plus long et plus mince que dans les lampes à 110 volts, tend à tomber au contact de l'ampoule, quand il est horizontal, ainsi que le prouvent les chiffres suivants : lampe D, le filament horizontal est venu au contact de l'ampoule, qui s'est brisée, au bout de 159 heures; lampe C, même résultat au bout de 215 heures; lampe B, même résultat au bout de 315 heures; lampe A, avec filament dans un plan vertical; la traverse du filament s'étant brisée, le filament vint au contact de l'ampoule qui se brisa, au bout de 345 heures. Il y aurait donc intérêt, à ce point de vue, à augmenter le diamètre de l'ampoule.

Quant à la consommation spécifique en watts par bougie, elle est très élevée; elle ne se tient dans le voisinage de 4 watts qu'au début, mais ne tarde pas à atteindre 5, 6 et même près de 7 watts par bougie.

Toutes ces conditions rappellent les premiers temps des lampes à 110 volts; il est probable que d'ici peu de temps, les lampes de 220 volts auront reçu des perfectionnements comparables à ceux qui ont amené leurs aînées au point actuel d'économie.

L'auteur a fait aussi d'autres essais pour déterminer comment la puissance lumineuse de ces lampes variait avec la différence de potentiel aux bornes, et quelle était la différence de potentiel maxima que ces lampes pouvaient supporter sans brûler. Il ne donne malheureusement pas les relevés photométriques; il est évident qu'une même variation de potentiel, en volts, provoque une variation d'éclat beaucoup moindre avec des lampes de 220 volts qu'avec des lampes de 110 volts, et cela pour deux raisons : d'abord la variation relative de tension est moitié moindre, et ensuite le rendement des lampes est plus faible. Les essais de brûlage sont intéressants. La lampe était montée en série avec un rhéostat à liquide et le tout branché sur un réseau à 500 volts; on réglait le rhéostat pour que la différence de potentiel aux bornes fut de 220 volts au début, puis on diminuait graduellement la résistance, en notant l'intensité du courant, la différence de potentiel aux bornes et le temps. Le tableau suivant indique la tension atteinte au moment

où le filament a brûlé, l'intensité correspondante du courant, et le temps écoulé depuis le commencement de l'expérience.

Lampes	D. d. p. en volts.	Intensité en ampères.	Temps écoulé en secondes.
A	316	1,06	31
B	366	0,78	30
C	447	0,85	40
D	378	1,10	31

On remarquera les grandes différences qui existent entre les différentes lampes.

En résumé, d'après ce qui précède, on voit que les lampes à 220 volts sont encore loin d'avoir atteint le même point de perfection que les lampes à 110 volts. G. P.

Essais de compteurs ;

Par R.-F. SCHUCHARDT et G.-H. JONES.

Les auteurs ont imaginé une méthode originale pour l'essai des compteurs qui emploient un moteur pour faire mouvoir les aiguilles. Dans ces appareils, le nombre de tours du moteur pendant l'unité de temps est proportionnel à l'intensité ou à la puissance du courant qui les traverse, suivant qu'il s'agit de compteurs de quantité (ampères-heures-mètres) ou de compteurs d'énergie (watts-heures-mètres).

On doit donc avoir, si l'appareil est exact, soit :

$$n = \mathrm{EI}t$$

ou

$$\frac{\mathrm{EI}t}{n} = 1.$$

soit :

$$n = \mathrm{I}t$$

ou

$$\frac{\mathrm{I}t}{n} = 1.$$

Par conséquent, il suffit de lancer, dans un compteur à vérifier, un courant constant de valeur connue, et de compter le nombre de tours faits pendant un nombre donné de secondes pour en vérifier l'exactitude. Si le résultat des calculs effectués avec ces valeurs transportées dans les équations ci-dessus donne un résultat plus petit que l'unité le compteur tourne trop rapidement pour la valeur du courant adoptée ; si ce résultat est plus grand que l'unité, le compteur, au contraire, tourne trop lentement. Les valeurs de E et I se mesurent par les méthodes ordinaires avec des ampèremètres et des voltmètres étalonnés ; t se mesure avec un chronomètre à arrêt. On dresse une courbe des valeurs obtenues qui représentent la marche du compteur.

Cette méthode est susceptible d'une grande exactitude ; en outre, elle permet d'effectuer la vérification d'un compteur en très peu de temps et avec une très faible dépense d'énergie électrique. Elle mérite d'être signalée.

Voici quelques-uns des résultats obtenus par les auteurs :

Watt-heure-mètre Thomson, de 100 volts et 10 ampères. — Pour 440 watts pendant 4 secondes, le compteur fait 1 800 tours ; on a :

$$\frac{4 \times 440}{1800} = 0,978.$$

L'appareil est donc, pour cette valeur du courant, de 2,2 pour 100 trop rapide. Ces compteurs peuvent servir également pour les courants continus et les courants alternatifs ; pour ces derniers, ils sont indépendants de la fréquence. Les anciens types démarraient trop lentement ; les nouveaux modèles ont le défaut contraire et tournent même à vide [1] ; leur courbe d'erreur est remarquablement droite.

Compteurs Shallenberger, pour courants alternatifs seulement. — Ampère-heure-mètre de 20 ampères. Pour $\mathrm{I} = 3,3$, $t = 2$ sec. on a $n = 6,33$, ou :

$$\frac{2 \times 3,3}{6,33} = 1,042.$$

Retard 4,2 pour 100. Les appareils essayés

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 11 septembre 1897, t. XII, p. 514.

démarraient trop lentement; leur marche après la mise en route était très uniforme. Deux des appareils essayés tournaient trop lentement à forte charge ; les fréquences élevées les faisaient avancer de 5 à 15 pour 100.

Les watts-heures-mètres du même inventeur étaient remarquablement exacts ; ils se mettent en route à très faible charge ; leur erreur est extrêmement réduite ; en outre, ils sont très sensibles aux changements de charge et la valeur de la fréquence est sans action sur eux.

Tous ces compteurs ne sont pas affectés par les changements de tension; ils indiquent les watts vrais.

Compteurs Duncan. — Les watts-heures-mètres essayés étaient trop rapides ; on a pu cependant, par un réglage soigné, réduire leur erreur à $\pm$ 5 pour 100 ; ils démarraient trop lentement et retardaient aux fortes charges. La fréquence a une grande influence sur leur fonctionnement; la différence des erreurs pour des fréquences de 60 et de 130 atteint 30 pour 100.

Compteurs Diamond. — Des charges inductives les font retarder, arrêter et même décompter.

Ces essais ont été complétés par des mesures faites sur des appareils en service courant. Les résultats généraux sont les suivants :

Compteurs de quantité. — Démarrent trop lentement ; tournent trop lentement, surtout aux fortes charges, ce qui implique une perte notable pour l'usine.

Compteurs d'énergie. — Sont plus exacts ; ils tourneraient même trop vite, sauf au démarrage. Le compteur Thomson a la moindre variation d'erreur, mais dépense plus que tous les autres.

En terminant, les auteurs insistent sur la nécessité d'employer de bons compteurs, dût-on les payer beaucoup plus cher que d'autres, parce que, si l'on tient compte des dépenses d'énergie, des pertes par suite d'erreurs, les meilleurs compteurs finissent par devenir les moins coûteux. Mais quelle que soit la qualité du compteur, il est toujours indispensable de vérifier chaque appareil spécialement et à des charges très différentes.

G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur la forme des lignes de force électrique dans le voisinage d'un résonateur de Hertz;

Par GUTTON [1].

« Je me suis proposé de déterminer expérimentalement la forme des lignes de force électrique dans un champ hertzien. Pour cela, j'ai employé un appareil analogue au *récepteur* utilisé par M. J.-C. Bose [2] pour déceler la présence d'ondes électriques, appareil basé sur le phénomène découvert par M. Branly. Dans le fond d'une rainure étroite de 3 cm de long, formée de bandes de verre, j'ai placé alternativement des ressorts à boudin en laiton oxydé et de petites olives également en laiton touchant la partie convexe des ressorts. Une vis permet de serrer le tout entre deux morceaux de cuivre. Les contacts entre les olives et les ressorts sont plus réguliers qu'entre les ressorts de l'appareil de Bose. Le récepteur, qui n'est pas conducteur, le devient lorsqu'on le place dans un champ hertzien ; quelques secousses le ramènent à son état primitif.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 569, séance du 18 octobre 1897.

(2) J.-C. BOSE, *Phil. Mag.*, t. XLIII, p. 55, janvier 1897. *L'Eclairage Electrique*, t. XI, p. 33, et t. XII, p. 567, 27 mars et 28 septembre 1897.

» Pour étudier sa conductibilité, on l'intercale dans un circuit comprenant un électromètre capillaire et une force électromotrice de 1/10 de volt. Pour éviter les actions inductrices sur les fils menant à l'électromètre, il faut détacher ces fils et les éloigner, de façon à faire agir les ondes sur le récepteur seul.

» Ayant placé le récepteur entre deux plaques métalliques parallèles et en regard, attachées aux extrémités de deux fils transmettant des ondes, j'ai constaté qu'il ne devient pas conducteur toutes les fois que la file de ressorts est parallèle aux plans des plaques. Il en résulte qu'il n'y a pas d'action sensible sur le récepteur quand celui-ci est normal à la force électrique. De là un moyen de trouver la direction de cette force en un point d'un champ hertzien : je cherche deux directions suivant lesquelles le récepteur ne devient pas conducteur; la normale au plan ainsi déterminé est la direction de la force électrique.

» Par cette méthode j'ai d'abord vérifié que la force électrique est normale à un fil de cuivre transmettant des ondes.

» J'ai ensuite exploré le champ dans le plan d'un résonateur. Un résonateur carré de 50cm de côté était placé entre deux fils transmettant des ondes et dans le plan de ces fils. La coupure était au milieu de la branche transversale située du côté de l'excitateur. En tout point du plan du résonateur, la force électrique est, par raison de symétrie, dans ce plan; il suffit donc de chercher, dans ce plan, la direction suivant laquelle le récepteur ne devient pas conducteur; la direction normale sera celle de la force électrique. D'après la théorie de Poynting, le récepteur lui-même sera précisément orienté suivant la direction de propagation de l'énergie.

» J'ai trouvé ainsi que :

» 1° Loin du résonateur, les lignes d'énergie sont parallèles aux fils de transmission.

» 2° Au voisinage du résonateur, des lignes d'énergie se recourbent de façon à converger vers la coupure. Les trajectoires orthogonales, qui sont les lignes de force électrique, forment des arcs dont les extrémités sont sur le résonateur de part et d'autre de la coupure. Les lignes d'énergie qui sont proches des fils de transmission continuent à suivre ces fils et vont pénétrer dans l'espace compris entre eux et les côtés parallèles du résonateur.

» 3° A l'intérieur du carré formé par le résonateur, des lignes d'énergie divergent à partir de la coupure ; mais la force électrique est moins intense qu'à l'extérieur, car il est nécessaire, pour explorer l'intérieur du résonateur, d'augmenter la sensibilité du récepteur.

» Une partie des lignes d'énergie qui convergeaient à la coupure y a donc été arrêtée.

» On pouvait d'ailleurs prévoir que la convergence des lignes d'énergie à la coupure doit être une condition nécessaire pour qu'un résonateur fonctionne. A l'étincelle a lieu, en effet, une transformation de l'énergie électromagnétique en chaleur, lumière, etc. : l'étincelle ne peut donc se produire que là où il y a un afflux d'énergie.

» En voici un exemple : un résonateur, formé simplement d'une tige métallique coupée en son milieu, ne donne aucune étincelle s'il est placé parallèlement à l'un des fils de transmission et en donne, au contraire, dès qu'on l'incline dans le plan de ces fils. Dans le premier cas, les lignes d'énergie ne sont pas déviées de leur chemin primitif par le résonateur. Dans le second cas, au contraire, la disposition des lignes de force est analogue à celle que j'ai décrite plus haut et l'énergie converge à la coupure.

» Voici un second exemple : j'ai remplacé les fils de transmission par deux larges rubans métalliques dont les plans sont parallèles et verticaux. Un résonateur est constitué de la façon suivante : une plaque de cuivre est coupée en trois bandes parallèles. La bande du milieu, constituant le résonateur proprement dit, est coupée au milieu de sa longueur. Une petite pointe, ménagée sur l'un des bords de cette coupure, sert, avec le bord en regard, de micromètre à étincelles. Les deux

autres bandes jouent un rôle analogue à celui de l'anneau de garde d'un condensateur. Pour assurer la protection, les plaques de garde recouvrent un peu les bords du résonateur sans les toucher. Je place le résonateur entre les rubans transmettant les ondes, son plan étant vertical et perpendiculaire aux rubans. J'ai constaté que le résonateur ne donne que de très faibles étincelles lorsque les plaques de garde sont en place; au contraire, lorsqu'elles sont enlevées les étincelles deviennent très vives.

» L'explication est la suivante : le résonateur et les rubans sont trois plans verticaux; il en résulte que, dans la partie moyenne et grâce aux plaques de garde, les lignes de force électrique et les lignes d'énergie sont planes et horizontales, c'est-à-dire qu'une portion de l'énergie reste, durant tout son trajet, dans le même plan horizontal. L'énergie qui se propage dans une tranche très mince, à la hauteur du micromètre à étincelles, peut seule y arriver, ce qui explique la petitesse de l'étincelle.

» Lorsque les plaques de garde sont enlevées, l'énergie converge de tous côtés vers l'étincelle qui sera beaucoup plus forte. »

Sur la conductibilité électrolytique de l'acide trichloracétique;

Par Paul RIVALS [1].

« J'ai mesuré, par la méthode de M. Bouty, les conductibilités moléculaires des solutions de l'acide trichloracétique pour des dilutions comprises entre $v = 1$ litre et $v = 128$ litres.

» Mes mesures, effectués à 16°, ont été rapportées d'abord à la résistance de la solution $KCl = 32$ litres, puis au mercure à 0°.

» En adoptant, pour la conductibilité moléculaire à 16° de la solution $KCl = 32$ litres, la valeur

$$\lambda = 107,2 \times 10^{-7},$$

on a les valeurs suivantes pour la conductibilité moléculaire μ de l'acide trichloracétique :

Valeurs de v. lit.	Valeurs de $\mu . 10^7$.	Valeurs de v. lit.	Valeurs de $\mu . 10^7$.	Valeurs de v. lit.	Valeurs de $\mu . 10^7$.
1	178,3	4	260,6	16	289,5
2	226,4	6	268,5	32	304,3
3	247,5	8	279	128	317

» On peut représenter μ en fonction de v par une formule parabolique en $\frac{1}{\sqrt[3]{v}}$ (formule de Kohlrausch), ou plus simplement par une fonction linéaire de $\frac{1}{\sqrt{v}}$:

$$\mu = 331,7 \times 10^{-7}\left(1 - \frac{0,463}{\sqrt{v}}\right).$$

» Si nous admettons pour la conductibilité limite μ_∞ la valeur

$$\mu_\infty = 331,7 \times 10^{-7},$$

et si nous posons

$$m = \frac{\mu}{\mu_\infty},$$

m représente, dans le langage actuel, la proportion d'acide dissocié; m est dès lors lié à v par la relation

$$m = 1 - \frac{0,463}{\sqrt{v}}. \qquad (1)$$

» D'autre part, j'ai précédemment mesuré [1] la chaleur de dissolution de l'acide trichloracétique à diverses concentrations. Celle-ci peut se représenter soit par une formule parabolique en $\frac{1}{\sqrt[3]{v}}$, soit plus simplement par la formule empirique

$$Q = 3^{Cal},38\left[1 - \frac{4}{7\sqrt{v}}\right], \qquad (2)$$

du moins pour les valeurs de v comprises entre 1 litre et 8 litres.

» Les équations (1) et (2) montrent que, dans ces limites, m et Q sont l'un et l'autre des fonctions linéaires de $\frac{1}{\sqrt{v}}$; en d'autres termes :

---

(1) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 574, séance du 18 octobre.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 240.

La chaleur de dilution de l'acide trichloracétique varie proportionnellement à la fraction d'acide dissocié.

» Le rapport $\frac{\Delta Q}{\Delta m}$ de la variation de Q à la variation correspondante d'acide dissocié est égal, d'après les équations (1) et (2), à 4,17. Ainsi, la *chaleur moléculaire de dissociation électrolytique* de l'acide trichloracétique est égale à + 4,17 cal.

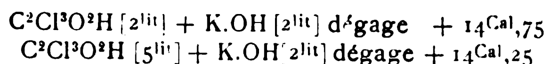
» Comme vérification, calculons la *chaleur de neutralisation* N de cet acide par la potasse. D'après la formule d'Ostwald

$$N = 13^{Cal},52 + (1 - m)\, d,$$

13,52 cal étant une constante commune aux acides forts et aux bases fortes, tandis que le second terme dépend de la proportion *m* d'acide dissocié et de la chaleur de dissociation *d*.

» En particulier, pour $v = 2$ litres, $m = 0{,}682$ (valeur observée), d'où je tire $N = 14{,}84$ cal ; pour $v = 4$ litres, $m = 0{,}785$, d'où $N = 14{,}41$ cal.

» En fait, j'ai trouvé directement



$C^2Cl^3O^2H$ [2^{lit}] + K.OH [2^{lit}] dégage + $14^{Cal},75$
$C^2Cl^3O^2H$ [5^{lit}] + K.OH [2^{lit}] dégage + $14^{Cal},25$

» Cet accord des résultats fournis par deux méthodes thermochimiques et une méthode électrique m'a paru intéressant à signaler. Il est indépendant de toute idée théorique. »

Doublets et triplets dans le spectre, produits sous l'influence d'un champ magnétique extérieur ;

Par P. Zeeman [1].

Dans ces deux mémoires, l'auteur expose les résultats qu'il a obtenus en cherchant à pousser plus à fond la vérification expérimentale des conséquences de la théorie de Lorentz [2]; un résumé des résultats des expériences du premier de ces mémoires a été communiqué à la séance de l'Académie des sciences du 21 juin et reproduit dans cette revue [1].

L'auteur rappelle que d'après la théorie de Lorentz le mouvement que prend une particule électrisée soumise à l'influence d'un champ magnétique peut se décomposer en trois autres : une vibration rectiligne parallèle aux lignes de force du champ dont la période est la même que si le champ n'existait pas; deux vibrations circulaires dans un plan perpendiculaire aux lignes de force, de sens inverse, la vibration circulaire gauche ayant une période plus petite que si le champ n'existait pas, la vibration circulaire droite ayant au contraire une période plus longue.

Il résulte de là que, si une source lumineuse donne une raie spectrale infiniment étroite quand elle n'est pas soumise à l'action d'un champ magnétique, cette raie devra, lorsque la source sera soumise à l'influence d'un champ, donner trois raies, celle du milieu polarisée rectilignement dans un plan perpendiculaire aux lignes de force, les deux autres polarisées elliptiquement; dans le cas particulier où l'on observe les ondes propagées suivant une direction perpendiculaire aux lignes de force, la polarisation des deux raies extrêmes sera circulaire, et dans le cas où l'on observe les ondes propagées suivant la direction même des lignes de force, la raie centrale, qui correspondrait à une vibration longitudinale, disparaitra : le triplet deviendra un doublet.

Mais les raies spectrales ayant une largeur finie, la séparation des raies ne sera visible que si la variation de période due au champ magnétique a une valeur suffisante ; si l'on observe suivant la direction des lignes de force le doublet ne sera visible que quand la variation magnétique de la période sera supérieure à celle correspondant à la moitié de la largeur de la raie primitive; si l'on observe suivant la direction perpendiculaire, il faudra

(1) *Phil. Mag.*, t. XLIV, p. 55-61 et 255-259, juillet et septembre 1897.

(2) Voir dans *L'Éclairage Électrique* du 5 juin 1897, t. XI, l'article de M. H. Poincaré « La théorie de Lorentz et les expériences de Zeeman », p. 481, la traduction littérale du mémoire de M. Zeeman, p. 513, et les notes de MM. Ogoroff et Georgienski, p. 518.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 77, 3 juillet 1897.

pour que le triplet soit visible, que la variation magnétique de période soit supérieure à celle correspondant à la largeur entière de la raie.

Avec des champs magnétiques d'intensité insuffisante pour produire la séparation, on obtient ce que M. Zeeman appelle des « formes intermédiaires ». Dans les conditions d'observation correspondant au doublet, on a alors une raie élargie dont les bords sont polarisés circulairement et dont la partie centrale n'est pas polarisée. Dans les conditions d'observation correspondant au triplet, M. Zeeman distingue deux cas : si la variation magnétique de période est un peu supérieure à celle cor-

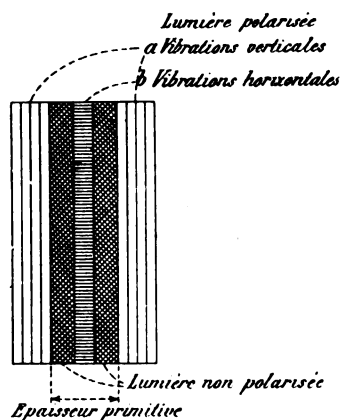


Fig. 1.

respondant à la moitié de la largeur de la raie, on doit avoir une raie élargie dont la partie centrale polarisée perpendiculairement à la direction des lignes de force est bordée de deux bandes non polarisées, bordées elles-mêmes de deux bandes polarisées suivant la direction des lignes de force, comme l'indique la figure 1 qui se rapporte au cas où les lignes de force sont horizontales et les raies du spectre verticales ; c'est ce que l'auteur appelle « triplet *a* ». Si la variation de période magnétique est plus petite que celle correspondant à la moitié de la largeur de la raie primitive, la polarisation de la partie centrale n'existera plus ; c'est le « triplet *b* ».

Dans les expériences faites au laboratoire de Leyde, M. Zeeman n'avait pu observer que cette dernière espèce de triplet et la forme intermédiaire du doublet. Dans ses nouvelles expériences, faites à Amsterdam, il a pu, en prenant la ligne bleue du cadmium ($\lambda = 480\ \mu\mu$), observer un doublet bien séparé et le triplet *a*.

La disposition expérimentale était la même qu'antérieurement, toutefois le réseau n'avait que 6 pieds de rayon. La source de lumière était une série d'étincelles électriques jaillissant entre deux électrodes de cadmium ; avec une lentille on en formait une image sur la fente du spectroscope. Les pièces polaires de l'électro-aimant, excité par un courant de 30 ampères, étaient aussi rapprochées que possible. Lorsqu'on observait dans la direction des lignes de force, un doublet parfaitement défini apparaissait ; chacune des lignes du doublet était polarisée circulairement *dans toute sa largeur*. Lorsqu'on observait suivant la direction perpendiculaire, un nicol analyseur étant placé sur le trajet des rayons avant que ceux-ci atteignent le réseau, on voyait une raie élargie ; si on orientait le nicol de manière à arrêter la lumière polarisée dans un plan vertical, on apercevait une ligne sombre bien délimitée et située au milieu de la raie élargie ; si l'on tournait le nicol de 90°, cette ligne noire disparaissait et les bords de la raie se trouvaient absorbés ; on avait donc bien le triplet *a*. Bien que plus difficilement visibles, des phénomènes du même genre purent être observés avec les raies D du sodium. Pour éviter le déplacement de l'amiante servant de support au sel marin sous l'influence du champ magnétique, déplacement signalé par Egoroff et Georgiewski, la flamme jaune du sodium était produite simplement en humectant la partie supérieure du brûleur d'une dissolution de chlorure ou de bromure de sodium. Le triplet *a* avait d'ailleurs été observé quelques semaines auparavant par le professeur Lodge en répétant les expériences fondamentales de M. Zeeman, à la soirée du 20 mai de la Royal Society.

Dans le second mémoire, M. Zeeman

annonce être parvenu à observer un triplet parfaitement défini avec la raie du cadmium et avec un champ magnétique plus intense que dans les précédentes expériences.

D'autres expériences faites dans le laboratoire du professeur Haga, à Groningen, qui possède un excellent réseau, permirent à l'auteur de mesurer, avec plus d'exactitude qu'il n'avait pu le faire jusqu'alors, la grandeur de la variation magnétique de la période. La flamme du sodium était observée suivant une direction perpendiculaire aux lignes de force à l'aide d'un nicol disposé de manière à éteindre la partie centrale de chacune des raies D du sodium. La distance entre les deux lignes de chaque raie était mesurée avec une très grande exactitude; cette distance était de $31,3 \pm 1,5$ divisions pour la raie D_1, et de $32,4 \pm 1$ pour la raie D_2. D'autre part, la distance séparant les deux raies dans le spectre normal était aussi mesurée; elle était de 288 divisions. La variation de période due au champ magnétique, lequel avait une intensité de 22 400 unités C. G. S., était par suite de 1/17 800, ce qui conduit à une valeur de e/m de $1,6.10^{-10}$.

L'auteur termine ce mémoire par quelques considérations relatives à des recherches faites par M. Michelson, à l'aide de sa méthode, sur le même phénomène ; nous reviendrons prochainement sur ces recherches. J. B.

Sur l'interprétation des expériences de Zeeman;

Par Garbasso [1].

L'application de la théorie de Lorentz à l'expérience de Zeeman semble présenter à M. Garbasso des difficultés insurmontables [2].

Le rapport de la charge à la masse d'un atome serait, d'après cette expérience, de l'ordre de

$$\frac{e}{m} = 10^7$$

e étant mesuré en unités électromagnétiques. Or on aurait, d'après Richarz [1]

$$e = 4,3.\ 10^{-21}$$

et le poids d'un atome de sodium serait, d'après Ebert [2], $1,7.10^{-21}$ et par suite sa masse $1,7.\ 10^{-24}$, d'où résulterait pour $\frac{e}{m}$ la valeur

$$\frac{e}{m} = 2,5.\ 10^3.$$

D'un autre côté, il serait nécessaire, pour la production des rayons circulaires, dans les conditions de l'expérience, d'admettre que les charges positives soient seules en mouvement. Rien n'indique la cause d'une telle diversité de traitement entre les deux électricités.

1. M. Garbasso propose une explication toute différente des phénomènes. Il admet que les forces magnétiques agissent directement sur les atomes eux-mêmes ; les atomes seraient conducteurs et l'action du champ magnétique consisterait en un amortissement du mouvement des atomes, par suite de la loi de Lenz.

2. Le champ de l'électro-aimant de Faraday est de révolution, avec un plan de symétrie. L'auteur étudie le mouvement des atomes situés dans ce plan. Un déplacement parallèle à l'axe, s'effectuant suivant la direction des lignes de force, ne donne lieu à aucune force électromotrice induite; il en est de même d'un déplacement infiniment petit suivant un parallèle. Reste le mouvement perpendiculairement à l'axe dans un plan méridien; il subira un amortissement qui se traduira par un élargissement de la raie, dont les bords seront polarisés. On retrouve ainsi les caractères observés par M. Zeeman pour la lumière propagée normalement aux lignes de force.

---

(1) *Nuovo Cimento*, t. VI, p. 8, juillet 1897.

(2) Voir sur les expériences de Zeeman, *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 481 et 513.

(1) Richarz. Sur la théorie électrochimique de Helmholtz et quelques conclusions qui s'en déduisent. *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 464.

(2) Ebert. *Annales de Wiedemann*, t. XLIX, p. 651 et aussi *L'Éclairage Électrique*, t. I, p. 277.

3. Quant aux rayons qui se propagent suivant l'axe de l'électro-aimant, M. Garbasso remarque qu'ils traversent, dans les noyaux de fer, de l'air placé dans un champ magnétique; cet air a acquis la polarisation rotatoire, c'est-à-dire que, d'après une expérience de M. Righi [1], les rayons circulaires s'y propagent plus vite ou moins vite que dans l'air, suivant le sens de la rotation. La vibration rectiligne équivaut à deux vibrations circulaires qui se propagent dans des milieux d'indice respectivement plus grand et plus petit que celui de l'air; il en résulte que l'image de la source fournie par le réseau de Rowland est dépointée; il faut rechercher si ce dépointement peut se traduire par un déplacement latéral des images. Le calcul donne pour la variation de l'angle μ que fait la direction du rayon diffracté avec la normale moyenne au réseau, en fonction de la variation dR de la distance de la source,

$$d\mu = -\frac{dR}{\rho \sin \mu}$$

qui change de signe avec dR et peut être notable si μ est petit (ρ est le rayon de courbure du réseau).

Le mécanisme du phénomène serait le suivant : la lumière serait transformée par le champ magnétique, de façon à donner à l'observation directe une raie estompée polarisée sur les bords; sous l'action du milieu magnétique, chaque bord se dédoublerait en deux raies polarisées circulairement et déplacées l'une vers l'extérieur de la bande complexe, l'autre vers l'intérieur.

Aux deux extrémités les raies circulaires de même sens se déplaceraient dans le même sens et les bords apparaîtraient finalement polarisés en sens contraire. C'est ce que vérifie l'expérience.

Dans cette hypothèse le sens de rotation se renverserait avec le champ magnétique.

On ne saurait méconnaître l'ingéniosité de l'explication par laquelle M. Garbasso relie les phénomènes de polarisation rotatoire observés par M. Zeeman à ceux de polarisation rectiligne et il serait à désirer vivement qu'une discussion numérique plus complète et des expériences établissent nettement si le premier phénomène n'est dû, en réalité, qu'à une disposition expérimentale particulière. C. R.

Relation entre le courant photoélectrique et l'angle d'incidence, la direction du plan de polarisation de la lumière incidente et l'absorption de la lumière par la cathode;

Par J. Elster et H. Geitel [1].

Comme il a été dit dans un mémoire précédent [2], l'intensité du courant photoélectrique est liée à l'angle α que fait le plan du déplacement électrique avec l'angle d'incidence, par la formule :

$$J = A \cos^2 \alpha + B \sin^2 \alpha$$

A et B étant deux coefficients qui dépendent de l'angle d'incidence. Pour trouver comment ces coefficients varient avec l'angle d'incidence, les auteurs ont employé un appareil un peu plus complet que leur appareil primitif, permettant de faire varier commodément l'angle d'incidence, tout en maintenant constante l'intensité de la source.

Un bras mobile autour d'un axe horizontal porte (compté à partir du centre de rotation) une fente dont la largeur variable est mesurée au moyen d'un micromètre, un nicol dans une bonnette qui porte une graduation, une lentille cylindrique à court foyer et enfin une lampe à incandescence dont le filament, disposé horizontalement, coïncide avec la ligne focale de la lentille.

L'ampoule photoélectrique est fixée sur un support qui peut se déplacer horizontale-

[1] Righi. Sur la vitesse de la lumière dans les corps transparents placés dans un champ magnétique (*Nuovo Cimento*, t. III, p. 212, 1878).

[1] *Wied. Ann.*, t. LXI, p. 445-465.

[2] *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 278.

ment et verticalement et est réglé de manière que l'axe de rotation du bras mobile se trouve dans le plan de la surface libre du métal liquide, et coïncide avec le diamètre parallèle à l'anode. Dans chaque position du bras mobile, on vérifie que les faisceaux incident et réfléchi sont symétriques par rapport à l'anode par l'observation des taches lumineuses sur les parois de l'ampoule, qui doivent être à la même hauteur au-dessus de la surface métallique.

Le bras mobile est d'abord disposé verticalement, de sorte que l'angle d'incidence est nul : si on allume la lampe, le galvanomètre dévie et indique le courant photoélectrique bien connu. Si la section principale du nicol et par conséquent le plan du déplacement électrique dans le rayon lumineux coïncide avec le plan d'incidence, l'intensité du courant photoélectrique croît avec l'angle d'incidence, devient maximum quand l'angle d'incidence est voisin de 60° et diminue ensuite pour devenir très petit quand l'angle d'incidence est égal à 90°. Lorsqu'on a tourné le nicol de 90°, l'intensité du courant électrique diminue d'une manière continue quand l'angle d'incidence augmente.

Ces lois se rapportent à l'alliage liquide de potassium et de sodium ; les autres substances sont beaucoup moins sensibles à ce point de vue ; cependant il est intéressant de savoir comment elles se comportent, pour décider si les phénomènes optiques qui accompagnent la réflexion influent sur le phénomène photoélectrique. Comme substances se prêtant à cette étude, on a les amalgames de cœsium et de rubidium, obtenus par voie électrolytique et contenant autant de métal alcalin qu'ils peuvent en retenir sans perdre leur fluidité. Mais leur sensibilité est beaucoup moindre que celle de l'alliage potassium-sodium, ce qui oblige à remplacer la lampe à incandescence par une source plus forte, une lampe à zircone alimentée par du gaz d'éclairage et de l'oxygène, et à rendre la fente plus large.

Lorsque l'angle d'incidence devient très grand et que la fente est large, on pourrait craindre que l'éclairement de la surface cathodique ne fût pas uniforme, puisque les divers points éclairés ne sont plus à la même distance de la source ; mais on a vérifié qu'il n'en résultait aucune perturbation, car l'intensité du courant est proportionnelle à la largeur de la fente. D'autre part, on fait varier l'incidence en laissant la largeur de la fente constante et ensuite on diminue la largeur proportionnellement au cosinus de l'angle d'incidence de manière à maintenir constante la surface éclairée. On trouve que les nombres obtenus dans la deuxième série de mesures sont égaux à très peu de chose près aux nombres de la première série, multipliés respectivement par le cosinus de l'angle d'incidence correspondant.

Les électrodes en amalgame de cœsium et de rubidium fournissent des courants photoélectriques qui suivent en gros les mêmes lois que les courants fournis par les électrodes de métal alcalin sans mercure. Cependant on trouve quelques différences. Tandis que dans le second cas, le courant devient maximum pour un angle d'incidence égal à 60°, le maximum n'a lieu dans le premier cas que pour un angle voisin de 75°. Du reste, il n'est pas possible d'opérer avec des angles d'incidence plus grands, parce que la fente est trop large pour que, sous des angles plus grands, la cathode reçoive le faisceau tout entier. L'intensité du courant photoélectrique obtenu sous l'incidence normale est plus grande, relativement à l'intensité maxima, avec les cathodes d'amalgame qu'elle n'est avec les cathodes de métal alcalin pur.

Ces différences font soupçonner que les propriétés optiques de la surface métallique influent sur le courant photoélectrique et sur ses relations avec l'angle d'incidence.

D'après l'allure générale du phénomène, il est naturel de penser qu'une partie de l'énergie contenue dans la lumière incidente, transformée par la réflexion est utilisée à produire le passage de l'électricité négative de la cathode dans le gaz ; le courant photo-

électrique doit alors dépendre de l'absorption de la lumière par la cathode, absorption qui est aussi fonction de l'incidence et des constantes optiques du métal.

Les constantes du mercure et des amalgames alcalins ont été déterminées par le professeur Drude. Pour l'alliage de potassium et de sodium, il a trouvé :

Pour la lumière du sodium :

$$n = 0{,}123 \quad k = 17{,}75;$$

incidence principale $\varphi = 68°29'$, azimut principal $\psi = 43°38'$.

Pour la lumière bleue (ayant traversé une solution ammoniacale d'oxyde de cuivre) :

$$n = 0{,}148; \quad x = 12{,}1;$$
$$\varphi = 65°{,}50' \quad \psi = 43°{,}6'.$$

A cause de la petite valeur de x, on ne peut calculer l'absorption par les formules approximatives, mais il faut employer les formules rigoureuses déduites par le professeur Drude de la théorie de Voigt.

L'intensité maxima du courant photoélectrique provoqué par la lumière polarisée perpendiculairement au plan d'incidence ne correspond pas exactement à l'incidence principale, mais plutôt à l'incidence pour laquelle l'absorption est maxima. Cette incidence est du reste très voisine en général de la première : c'est seulement pour les valeurs très petites de n que l'écart peut devenir considérable.

L'incidence principale sur la surface des amalgames est d'environ 79° ; mais comme il a été dit, on ne peut pas pousser les mesures jusque-là ; au delà de 75°, les mesures sont plus certaines.

En ce qui concerne l'intensité du courant, elle est à peu près proportionnelle à l'absorption quand la lumière est polarisée dans le plan d'incidence. Mais quand la lumière est polarisée perpendiculairement au plan d'incidence, la loi est certainement plus compliquée. Dans ce dernier cas, on peut décomposer le déplacement électrique situé dans le plan d'incidence en deux composantes, l'une parallèle, l'autre normale à la surface de la cathode. Le courant photoélectrique peut être décomposé de la même manière. Soient a_φ la fraction de lumière absorbée quand un rayon d'intensité égale à 1 tombe sur la surface sous l'angle φ ; a_0 la valeur de a_φ pour $\varphi = 0$; A_φ et A_0 les intensités du courant photoélectrique correspondant à a_φ et à a_0 ; on a approximativement :

$$A = c'(a_\varphi - a_0 \cos^2 \varphi) + A_0 \cos^2 \rho$$

A étant l'intensité totale, c' une constante.

Les écarts entre les nombres mesurés et les nombres calculés par cette formule, restent dans les limites des erreurs d'expérience. On ne peut guère attendre de concordance plus parfaite, si on remarque que les constantes optiques introduites dans le calcul sont valables seulement pour des longueurs d'onde déterminées et non pour le spectre entier. Il semble donc légitime de conclure que les rapports entre l'intensité du courant photoélectrique, l'angle d'incidence et l'azimut de polarisation sont déterminés par l'absorption de la lumière sur la surface de la cathode.

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Il telegrafo senza fili, sistema Marconi (Le télégraphe sans fil, système Marconi. 1 vol. avec 17 figures. *A. Banti*, Roma.

L'opuscule publié sous ce titre présente quelques nouveautés sur les publications similaires écloses depuis la célèbre expérience faite sous les auspices de M. Preece. L'auteur a rappelé les essais antérieurs exécutés en Angleterre, en Amé-

rique, en France. Il a développé ensuite, de façon simple, la théorie des ondes, décrit les organes essentiels du nouveau système et montré, dans une série assez complète de figures claires, le montage des postes transmetteurs et récepteurs. Il a particulièrement insisté (et c'est en ceci qu'il s'est écarté des chemins battus) sur le rôle du conducteur vertical ou *antenne*, qui peut remplacer l'un des *volets* du récepteur. Il a énuméré avec beaucoup de méthode les expériences faites ou à faire, en les appuyant de vues théoriques originales. C'est ainsi qu'il narre et discute, non sans élégance, les essais de transmission récemment tentés entre la terre (arsenal de la Spezzia) et un navire placé au large (le cuirassé San-Martino). L'opuscule va être publié en allemand, mais ne le sera pas en français. C'est pourquoi nous avons cru opportun de le signaler comme contenant des détails inédits que l'inventeur, M. Marconi, a longuement fournis à l'auteur, son compatriote.

P. Marcillac.

Leghe Metalliche e Amalgame : Alluminio, nichelio metalli preziozi e imitazioni, bronzo, ottone, monete e medaglie, saldature (Alliages métalliques et amalgames, aluminium, nickel, métaux précieux et imitations; bronze, laiton, monnaies et médailles, soudures), par I. Ghersi, ingénieur. 1 vol. de 446 pages avec figures. *Hoepli*, éditeur. Milan, 1897.

Les titre et sous-titre disent le contenu de l'ouvrage, du moins dans son ensemble. C'est à la fois un travail personnel et une immense compilation. L'auteur s'est appliqué, sans toutefois négliger la partie scientifique pure qu'il a succinctement traitée, à fournir de nombreuses données sur les alliages des métaux usuels ou précieux, et, chose plus neuve, sur les alliages des métaux semi-précieux comme l'aluminium, le nickel, ou des métaux dits *réfractaires* (chrome, molybdène, palladium, tungstène, vanadium, etc.), sur lesquels les travaux de M. Moissan ont appelé l'attention. Le travail de compilation comprend les recherches faites jusqu'en juin 1897 : c'est dire que les données fournies sont de fraîche date, et c'est un point important pour les techniciens, si l'on veut bien se rappeler avec quelle rapidité les progrès se sont succédé dans la production électrique des métaux depuis quelques années seulement.

Les alliages des métaux à la mode, l'aluminium et le nickel, sont largement traités dans des chapitres spéciaux. Les métaux rarissimes (du moins à ce jour) sont aussi très étudiés. Leurs variations de prix dans une période de six ans sont relevées sous forme de table et permettent presque de fixer l'époque à laquelle ils seront d'usage courant si les progrès persistent. Une mention spéciale pour le glucinium et le lithium : nous avons remarqué, non sans plaisir, que ces deux futurs adversaires de l'aluminium ne sont plus considérés comme des curiosités de laboratoire. Le dernier surtout, avec sa merveilleuse densité de 0,59, mérite à tous égards de fixer l'intérêt. Son abondance dans les micas rosés de Bohême où, sous le nom de lépidolithe, il constitue des collines entières, permet d'espérer qu'il jouera économiquement un rôle sérieux dans les moteurs extra-légers de l'avenir.

Une quantité de tables sur les qualités mécaniques, physiques, chimiques, électriques de tous les alliages, rend l'ouvrage précieux au point de vue industriel. Nous avons dit qu'à côté des vues particulières de l'auteur, il y avait un grand travail de compilation. On en aura une idée si l'on sait que M. Ghersi a réuni et présenté, sous forme de texte élégant, environ trois cents citations des meilleurs et plus récents auteurs, sur le traitement des métaux, leurs alliages, leurs prix, leurs emplois multiples (l'électricité étant toujours visée spécialement), leurs avantages et leurs inconvénients, leurs propriétés, et sur les expériences de la veille.

Cinq tables facilitent les recherches et renvoient aux ouvrages consultés pour cet amoncellement de données. Bornons-nous à citer les chapitres du volume, auquel on ne peut reprocher, comme à tous les manuels ou agendas connus, que la finesse des caractères, ce qui a permis, d'ailleurs de condenser en 450 pages la matière de 4 volumes in-12 au moins.

« Des alliages en général. » — Alliages binaires, alliages d'aluminium avec les métaux usuels, alliages de nickel, amalgames, alliages d'or, d'argent, de platine, monnaies et médailles, bronzes, laitons, alliages ternaires et quaternaires, alliages pour coques de navires, métal Delta, alliages fusibles, alliages blancs, alliages pour arts graphiques, pour appareils mécaniques, soudures, étamages, alliage imitant l'argent, alliage de métaux réfractaires, divers, alliage imitant l'or, les alliages dans leurs rapports avec l'hygiène (très intéressant chapitre), appendice contenant les procédés d'analyse, des

recettes, tours de main, etc.; enfin, la bibliographie, qui est une des parties les plus importantes du livre. Une aussi brève analyse ne permet pas de citer tels ou tels passages. Nous en ferons des extraits ultérieurement. Il nous faut ajouter encore ce que nous avons eu souvent l'occasion de dire ici-même de la riche collection des Manuels Hoepli, c'est que l'exécution typographique est parfaite et que le volume se présente sous un aspect artistique qui s'allie fort bien avec l'intérêt du texte.

P. Marcillac.

CHRONIQUE

Obtention de radiographies instantanées. — Lorsqu'il s'agit de radiographier des objets d'une épaisseur assez considérable, une longue pose est nécessaire, ce qu'il est parfois impossible d'obtenir. Dans notre dernier numéro, nous signalions les tentatives faites par M. Porcher pour diminuer la durée de la pose en employant un procédé détourné consistant à former une image sur un écran fluorescent et à photographier cette image; mais il résultait de ces recherches qu'on ne gagnait absolument rien sur le temps en opérant ainsi, si l'on voulait avoir la même netteté que par radiographie directe.

M. Gaston Séguy a été plus heureux; il est parvenu, en suivant les indications du Dr Max Lévy, de Berlin, à obtenir des radiographies du thorax en 30 secondes, comme l'indique la note suivante, présentée à la séance de l'Académie des sciences du 26 octobre.

« J'ai pris une plaque de verre très mince que j'ai enduite, des deux côtés, d'une couche de gélatino-bromure d'argent, puis j'ai laissé sécher cette émulsion.

» D'autre part, j'ai préparé sur toile deux écrans souples au calcium violet, de M. Becquerel, en suspens dans du celluloïd.

» Aussitôt ces écrans séchés, je les ai appliqués sur chacun des côtés de ma plaque à double émulsion, puis j'ai placé le tout dans un châssis exerçant une pression sur les surfaces à l'aide de deux feuilles de carton.

» Ensuite, j'ai procédé comme à l'ordinaire, en disposant un thorax avec mon transformateur de 0,15 m. J'ai posé une demi-minute; puis j'ai développé, et obtenu un thorax de la plus complète netteté. »

Ampoule productrice de rayons X, bianodique et à phosphorescence rouge. — A la même séance de l'Académie, MM. Gaston Séguy et Émile Gundelag présentaient cette autre note :

« Nous avons préparé le verre de ces ampoules en incorporant à du verre incolore, transparent, et non fluorescent, de l'albumine en poudre et du carbonate de chaux, ou, mieux encore, du chlorure de didyme. Le verre ainsi préparé a les propriétés suivantes :

» 1° La fluorescence est rouge, et non plus verte;

» 2° Il émet deux fois plus de rayons X que les verres ordinaires;

» 3° La fluorescence qu'il excite sur l'écran est plus brillante, et d'un vert jaune mêlé de rouge.

» Nous avons constaté, sur trois sujets daltoniens, que cette fluorescence est visible même aux personnes qui ne perçoivent pas le vert. »

Action des rayons X sur l'évaporation cutanée. — M. L. Lecercle présentait également à cette séance une note relative aux propriétés des rayons X. Il a pesé la quantité de vapeur d'eau émise par une certaine surface du train postérieur de lapins adultes: 1° avant l'exposition aux rayons X; 2° immédiatement après; 3° une heure et demie ou deux heures après. Il a constaté ainsi que les rayons X impriment à l'évaporation cutanée du lapin une sorte d'inhibition, qui peut aller jusqu'à la suppression complète et qui se poursuit longtemps après.

M. Lecercle a aussi constaté, sur lui-même et sur l'un de ses aides, une diminution de l'évaporation cutanée de la paume de la main, en exposant celle-ci pendant environ un quart d'heure aux rayons X; mais l'action n'est alors que passagère

et l'évaporation revient assez vite à sa valeur primitive.

Action des rayons X sur la chaleur rayonnée par la peau. — M. L. Lecercle communiquait à ce sujet la note suivante à la séance du 18 octobre de l'Académie des Sciences :

« J'ai recherché si les rayons X faisaient subir des modifications à la température d'un thermomètre qui recevait la chaleur rayonnée par la peau.

» Le thermomètre était fixé dans la tubulure centrale d'une cloche en verre dont la base, d'une surface de 39 cm², reposait sur la peau. Deux autres tubulures permettaient de faire passer dans la cloche un courant d'air continu. Le réservoir thermométrique était à 4 cm de la peau. L'expérience était prolongée jusqu'à ce que la température restât stationnaire au moins trois minutes.

» Je faisais trois déterminations : la première avant, la seconde immédiatement après l'exposition aux rayons X, la troisième au moins une heure après.

» Les expériences ont été faites sur des lapins adultes, la cloche étant maintenue sur le train postérieur débarrassé de poils. Je les ai aussi répétées sur ma main et sur celle d'un jeune homme de dix-neuf ans.

» Ces expériences m'ont montré qu'il y a toujours, sous l'action des rayons X, une augmentation dans le rayonnement de la chaleur, augmentation qui se poursuit longtemps après que la peau a été soustraite à leur influence. Souvent aussi j'ai observé une diminution passagère de la chaleur rayonnée, immédiatement après que leur action s'était fait sentir. Ces modifications sont du reste de même sens que celles qui se produisent dans la température de la peau soumise aux rayons X.

» En remplaçant la surface cutanée par un fil de platine traversé par un courant d'intensité et de force électromotrice connues, rayonnant à la même distance, dans le même courant d'air, on peut, par une simple proportion, obtenir l'augmentation d'énergie rayonnante par seconde. Ces variations sont loin d'être négligeables : pour les trois lapins soumis à l'expérience, j'ai trouvé 9,6 et 27 grammes-mètres. »

L'emploi de l'alcool dans les moteurs à gaz tonnants. — Depuis quelques années on cherche à créer un nouveau débouché à l'acool en l'employant, à la place de l'essence minérale ou du pétrole, dans les moteurs à gaz tonnants, et dans ces derniers temps quelques essais ont été faits dans le but de reconnaître si cette substitution peut donner de bons résultats.

A la séance de l'Académie des sciences du 18 octobre dernier, M. Max. Ringelmann communiquait sur ce sujet une note substantielle résumant les résultats des recherches qu'il a faites, à l'instigation de la Société d'Agriculture de l'arrondissement de Meaux, à la Station d'essais de machines, recherches qui ont montré que l'alcool ne convient nullement pour la production de l'énergie motrice.

L'alcool et l'essence minérale employés dans les essais comparatifs avaient, d'après les analyses de M. Achille Müntz, les compositions et propriétés suivantes :

	Essence minérale.	Alcool dénaturé.
Carbone	84,3	41,5
Hydrogène	15,7	13,8
Oxygène	0	45,5
Densité à 15°	708	834
Point d'ébullition . . .	88°	78°,5

Si l'on fait le calcul des calories dégagées par un kilogramme de chacun de ces liquides, on trouve 11 359,65 pour l'essence et 6 524,75 pour l'alcool : les nombres de mètres cubes d'eau nécessaires à la combustion complète sont respectivement 11,782 et 5,698.

Les mesures de la vitesse d'évaporation ont montré que cette vitesse est deux à trois fois plus faible pour l'alcool que pour l'essence, suivant les conditions des expériences.

Les essais pratiques ont été effectués sur des moteurs à essence minérale. Le premier type adopté est un moteur horizontal de 2 à 3 chevaux du cycle à quatre temps, à allumage électrique et à soupapes automatiques, construit par M. Brouhot.

Les résultats de ces premiers essais ont été vérifiés sur un moteur Benz, vertical, de 3 à 4 chevaux à allumage par incandescence.

Le premier moteur ne peut partir seul avec l'alcool, ce combustible émettant trop peu de vapeurs à la température de 15° à 20°. La difficulté a été tournée en faisant fonctionner pendant cinq minutes environ le moteur avec l'essence minérale et, lorsque la température moyenne des gaz

de la décharge atteignait 70° environ, on commençait l'alimentation à l'alcool, en ayant soin de modifier de suite la composition du mélange tonnant (pour le même volume engendré par le piston, il faut 2,06 fois plus d'alcool que d'essence afin d'obtenir un mélange tonnant à combustion complète).

Pour faire fonctionner le second moteur avec l'alcool, on a établi un carburateur posé sur un fourneau à gaz qui permettait de maintenir le combustible à une température de 42° à 47°, reconnue, par tâtonnements, la plus favorable au fonctionnement de la machine (ce carburateur présente de grands dangers d'incendie).

Les résultats généraux des essais sont consignés dans le tableau ci-après (les chiffres se rapportent à des essais de longue durée, alors que les moteurs étaient en régime de température) :

	Consommation par heure.		Rapport des consommat.	
	Essence min.	Alcool dénat.	Essence min.	Alcool dénat.
Moteur horizontal.	kg.	kg.		
A vide	1,040	2,267	1	2,05
Par cheval à demi-charge	0,950	1,767	1	1,86
Par cheval en charge	0,892	1,306	1	1,56
Moteur vertical.				
A vide	0,328	0,771	1	2,35
Par cheval à demi-charge	0,619	1,097	1	1,66
Par cheval en charge	0,407	0,763	1	1,87
Moyennes			1	1,89

Pour obtenir le même travail industriel on consomme ainsi de 1,5 à 2,3 plus d'alcool dénaturé que d'essence minérale. Les prix de revient de la dépense de combustible (aux cours actuels) s'établissent ainsi :

	Essence min.	Alcool dénat.	Pétrole lampant de 823 (chiffres du premier prix du Concours internat. de Meaux en 1894).
Consommation par heure et par cheval, en poids (kilog.)	0,400	0,756	0,438
Consommation par heure et par cheval, en vol. (litre)	0,565	0,906	0,532
Rapport des consommations (en volumes)	105,28	169,2	100
Prix du litre (hors Paris)	0,50 fr	1 fr	0,30 fr
Prix du cheval-heure	0,28 fr	0,90 fr	0,16 fr

Dans ces conditions, les rapports de combustible pour obtenir la même puissance, sont :

Moteur à pétrole lampant	1,00 fr
Moteur à essence minérale	1,75 »
Moteur à alcool dénaturé	5,625 »

Avec les résultats ci-dessus l'alcool dénaturé devrait donc être vendu à raison de 17,70 fr l'hectolitre pour être équivalent, au point de vue économique, au pétrole lampant valant 30 fr l'hectolitre.

Il est désormais acquis, conclut l'auteur, qu'il ne faut pas songer à l'utilisation économique de l'alcool pour les moteurs, surtout si l'on tient compte des dangers d'incendie qu'entraîne la manipulation d'un liquide aussi inflammable.

Les transmissions par vis sans fin. — Les transmissions par vis sans fin ont le grand avantage de présenter un rapport très élevé entre le nombre de tours des organes en relation. Mais, comme le font remarquer avec raison le *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils* et *La Nature*, ce mode de transmission a toujours été considéré comme entraînant des pertes de puissance importantes, et l'usage en a été très restreint. Depuis quelques années cependant on utilise beaucoup ces transmissions dans la commande de divers appareils, pompes, treuils, etc., par les moteur électriques. Il importe de se rendre compte des résultats que l'on peut atteindre. M. A. Reckenzaum avait fait autrefois des essais avec une vis à trois filets en fer engrenant avec une roue en bronze phosphoreux, baignée dans l'huile ; en transmettant 15 chevaux, il avait eu un rendement de 87,5 p. 100 ; le rapport des vitesses était de 1 à 8. Le professeur Stodola, de l'École polytechnique de Zurich, a repris dernièrement l'étude de cette question. Une vis de 80 mm de diamètre, et d'un pas de 82 mm, en acier engrenant avec une roue de 28 dents et de 37 cm de diamètre, en bronze, trempant dans un bain d'huile, a donné, au frein dynamométrique, un rendement assez variable avec la vitesse et atteignant au maximum 87 p. 100 en transmettant une puissance totale de 21 chevaux environ à la vitesse angulaire de 1 500 tours par minute.

M. E. Kolben s'est également occupé de cette question et a publié à ce sujet divers articles dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift*. On peut arriver, d'après lui, à des résultats supérieurs avec ces trans-

missions; mais il est nécessaire de prendre certaines précautions dans la construction. Il faut augmenter considérablement la vitesse pour réduire les pressions entre le filet de la vis et les dents de la roue. On peut porter ces vitesse à des valeurs de 6 à 12 m par seconde. Des dynamos faisant de 1 600 à 800 tours par minute pourront être attelées à des outils, ou à des essieux de wagons faisant de 150 à 40 tours par minute avec une réduction de vitesse dans le rapport de 1 à 10 et de 1 à 20.

Les pièces doivent être établies avec le plus grand soin, taillées à la machine, avec les surfaces de contact polies et trempées, les roues ayant des couronnes en brouze phosphoreux montées sur des bras et moyeux en fer, le tout trempant dans un bain d'huile. Les collets de l'arbre de la vis devront porter sur des billes pour réduire le frottement au minimum. Les ateliers d'Œrlikon ont fait tout récemment des applications intéressantes de ce mode de transmission établi dans ces conditions à des appareils de levage, machines-outils. Ces indications peuvent être très précieuses pour les constructeurs d'outils à commande directe par moteurs électriques, et aujourd'hui ces modes de transmission commencent à être utilisés de plus en plus dans l'industrie.

Utilisation des puits artésiens comme source d énergie. — Dans le dernier numéro de *L'Électricien*, M. Aliamet signale, d'après le *Cassier's Magazine*, l'utilisation, faite en Amérique, des puits artésiens jaillissants comme source de force motrice.

C'est vers 1881 que furent creusés les premiers puits artésiens aux États-Unis, dans la vallée de la James River, qui traverse Aberdeen, État du South Dakota. Mais ce n'est que tout récemment que l'on songea à utiliser la force vive de l'eau des puits jaillissants pour actionner des roues Pelton. Cette idée fut mise à exécution pour la première fois par une grande Compagnie de minoterie, possesseur d'un puits de 236 m de profondeur et de 18 cm de diamètre, donnant à l'orifice 380 litres d'eau par seconde sous une pression de 6 kg : cm². Dans ces conditions l'eau est capable de produire une puissance de $\frac{380 \times 60}{75}$ chevaux, soit environ 300 chevaux; on l'employa à la mise en mouvement des cylindres de la minoterie, autrefois actionnés par un moteur à vapeur, ce qui permit de réaliser une économie de plus de 100 francs par jour. De ce jour l'idée se propagea rapidement et aujourd'hui bon nombre de minoteries de la région empruntent aux puits artésiens l'énergie qui leur est nécessaire.

Dépense d'énergie des ascenseurs et monte-charge électriques. — Dans un articles très documenté, consacré à l'application des moteurs électriques aux presses typographiques et autres machines employées dans les imprimeries, et que publie *The Electrical World* (9 et 16 octobre), M. Reed R. Bishop donne les résultats des essais faits sur deux ascenseurs électriques employés dans une imprimerie, l'un pour le service des personnes, l'autre pour celui des marchandises.

Ces deux ascenseurs, presque identiques, sont construits pour élever une charge moyenne de 1200 kg avec une vitesse de 80 m par minute. Les cages ont chacune un poids de 1 300 kg et sont munies d'un contrepoids tel que l'effort exigé du moteur pendant l'ascension n'est que la moitié environ du poids de chaque cage. Les moteurs employés sont des moteurs Eickemeyer, tournant à raison de 1250 tours par minute; ils exigent au démarrage un courant de 150 ampères.

Chaque ascenseur est muni d'un wattmètre et d'un compteur du chemin parcouru. En relevant les indications des deux appareils chaque matin, pendant plusieurs jours, on a obtenu les résultats résumés dans les tableaux I et II.

Tableau I. — Ascenseur

Dates.	Watts-heures.	Chevaux-heures.	Miles parcourus.	Chev.-h. par mile
5 avril	27525	36,90	15	2,46
6 »	26745	35,85	14,5	2,47
7 »	27660	37,08	15	2,47
8 »	27090	36,32	15	2,42
9 »	26955	36,14	15	2,41
10 »	24000	32,18	13,5	2.38
12 »	25845	34,65	13.5	2,56
13 »	26970	36,16	14.5	2,49
14 »	25110	33,67	14	2,40
15 »	27630	37,04	14	2.64
16 »	25350	33,98	14	2,43

Tableau II. — Monte-charge

Dates.	Watts-heures.	Chevaux-heures.	Miles parcourus.	Chev.-h. par mile
20 avril	19800	26,55	12	2,21
21 »	22455	30,10	12	2,51
22 »	18495	24,79	10.5	2,36
23 »	11160	14,96	5	2,99
28 »	6000	8,04	2,5	3,21
30 »	21165	28,37	11.5	2,46
1er mai	10575	14,18	6	2.36

Des chiffres de la dernière colonne du tableau I, il résulte que la dépense d'énergie de l'ascenseur destiné au service des personnes est en moyenne de 2,46 chevaux-heures par mille parcouru et que la moyenne journalière s'écarte peu du chiffre précédent. Les chiffres de la dernière colonne du second tableau donnent une moyenne un peu plus élevée, 2,58 chevaux-heures, qui parfois est assez éloignée de la moyenne d'un jour. Cela tient vraisemblablement à ce que, pendant la période des essais, le service des personnes ne différait guère d'un jour à l'autre, tandis que celui des marchandises était très variable. Il faut donc conclure de ces chiffres que, pour les ascenseurs comme pour tout autre moyen de transport, un service régulier est plus économique qu'un service variable.

Sur les ascenseurs électriques.— Récemment M. J.-L Woodbridge exposait dans les colonnes de notre confrère américain, *The Electrical World*, les difficultés que présentent encore la construction et le fonctionnement des ascenseurs électriques, et indiquait dans quelles voies doivent être cherchés les perfectionnements pour rendre son fonctionnement parfait. Il examinait successivement les trois questions suivantes : influence de l'inertie, réglage de la vitesse, précision des arrêts aux paliers.

Lorsqu'il s'agit d'ascenseurs destinés à desservir des maisons très élevées, le poids des câbles devient très considérable et il est nécessaire d'augmenter celui du contrepoids destiné à équilibrer en partie l'appareil.

Dans ces conditions, l'inertie s'oppose à ce qu'on puisse donner à l'ascenseur une vitesse suffisante, et la régulation du moteur est alors si difficile qu'on ne peut songer à le brancher directement sur les circuits d'éclairage. Il convient donc de diminuer, autant qu'il est possible sans que la sécurité en souffre, le poids de la cage et des accessoires.

Le réglage de la vitesse d'ascension offre également des difficultés. Si par exemple le contrepoids est plus pesant que l'ascenseur et que le moteur soit réglé par un régulateur construit pour une charge moyenne. l'ascenseur ne démarrera que lentement lorsque la charge sera plus grande que la charge moyenne, tandis qu'au contraire il démarrera brusquement pour une charge faible, la pesanteur aidant alors le moteur pour faire monter l'ascenseur. On a bien essayé de remédier à cet inconvénient par divers dispositifs. Celui qui consiste à faire manœuvrer le rhéostat du moteur par l'armature d'un solénoïde placé en série avec l'induit du moteur n'est guère recommandable. Le mieux est encore de manœuvrer le rhéostat à la main soit directement, soit par l'intermédiaire d'un servomoteur.

La précision des arrêts aux paliers est surtout difficile à obtenir avec les ascenseurs à grande vitesse ; elle exige de la part de l'employé chargé de la manœuvre une grande habileté, pouvant d'ailleurs se trouver en défaut par suite de la variation de la charge, qui peut faire varier considérablement le temps qui s'écoule entre l'instant de l'arrêt du moteur et l'instant de l'arrêt de l'ascenseur sous l'action des freins ; avec une vitesse de 3 m par seconde, atteinte dans bien des ascenseurs américains, il suffit en effet d'une variation de un dixième de seconde pour que, malgré les précautions prises, l'arrêt se produise à 30 cm au-dessus ou au-dessous du palier. Le meilleur dispositif à employer pour pallier à ces difficultés est, suivant M. Woodbridge, celui qu'a proposé M. Léonard, système dans lequel le moteur est alimenté directement par une dynamo spéciale dont l'excitation est réglée par un commutateur à rhéostat placé à portée du conducteur : de cette manière, la tension aux bornes du moteur est variable à volonté et d'une façon continue : le seul inconvénient du système qui, dans certaines circonstances, peut être prohibitif, est les nombreux appareils qu'il nécessite : moteur pour actionner la dynamo, dynamo et enfin moteur de l'ascenseur. A défaut de ce système M. Woodbridge conseille l'emploi d'un servomoteur actionné par l'employé chargé de la manœuvre de l'ascenseur et commandant simultanément le moteur, pour assurer la régularisation de la vitesse d'ascension, et les freins, pour assurer la précision des arrêts aux paliers.

Élévateur de grains à courants triphasés, à Liverpool. — La Grain Storage Company, dont les magasins longent les quais d'Alexandra Dock, à Liverpool, emploie, pour le transport des grains depuis les bateaux qni les amènent jusqu'aux salles où ils sont emmagasinés, une importante installation mécanique mue par l'électricité, et que décrivait dernièrement en détail notre confrère anglais The Electrical Review. Voici, d'après cette des-

cription, quelques renseignements sur cette installation, la première installation anglaise, paraît-il, où les courants triphasés servent à l'alimentation simultanée d'un service d'éclairage et d'un service de transport d'énergie.

Les locaux à desservir comprennent: une tour élévatoire en saillie sur le bord du quai, où viennent se ranger les bateaux, et un long bâtiment à plusieurs étages divisés chacun en magasins où sont conservés les grains.

Au rez-de-chaussée de l'aile gauche du bâtiment se trouve la station génératrice formée de deux salles contiguës: la chaufferie et la salle des machines. Dans la première est une seule chaudière Babock et Wilcox; dans la seconde est un groupe à couplage direct de 180 chevaux, comprenant un moteur à vapeur Bellis et un alternateur à courant triphasé, type Oerlikon, construit par la General Electric C°, de Manchester. Les organes de ce type d'alternateur étant bien connus de nos lecteurs nous nous bornerons à donner le résultat, des essais auxquels il a été soumis et qui ont duré six heures.

Puissance moyenne de l'alternateur à pleine charge. . .	133 kilowatts
Tension moyenne entre deux bornes.	210 volts
Courant d'excitation à 50 volts (charge nulle).	13 ampères
Courant d'excitation à 50 volts (pleine charge).	16.5 »

Pendant la durée de ces essais, l'échauffement des organes a été trouvé de :

Température de la salle	20°
Échauffement de l'intérieur de l'induit .	47°
» de l'enroulement excitateur	54°

Le rendement total de l'alternateur a été trouvé de 91 p. 100; celui du moteur à vapeur de 90 p. 100.

Des bornes de l'alternateur le courant triphasé est amené par trois câbles souterrains au tableau de distribution d'où il est ensuite réparti sur les différents circuits parcourant l'établissement. Outre les appareils usuels figurant sur les panneaux du tableau, il y a un dispositif de régulation automatique de tension très ingénieux, dont la sensibilité est assez grande pour éviter les fluctuations que subiraient les lampes lors du démarrage d'un des gros moteurs. Ce dispositif comprend un voltmètre muni de deux contacts fixés sur le cadran, de chaque côté de la graduation correspondant à la tension normale — l'écart ne peut dépasser trois volts; — deux relais, que commandent chacun des contacts du voltmètre, sont affectés à un embrayeur magnétique qui, d'une part, reçoit la courroie d'un petit moteur électrique d'un quart de cheval, et d'autre part, commande par une cordelette le volant de manœuvre du rhéostat. Voici comme fonctionne ce système : le moteur ainsi que le cylindre à double dentelure de l'embrayeur tournent à vide quand le potentiel est constant au voltmètre. Si, par suite d'une variation brusque, ce potentiel s'accroît ou baisse hors des limites de trois volts, l'un des relais, celui dont le circuit sera fermé par l'index du voltmètre, entrera en fonction et embrayera le pignon correspondant à une augmentation ou une suppression de la résistance du champ. Le rhéostat est à 20 contacts que peut parcourir une touche mue par une vis sans fin, comme pour les réducteurs de charge des batteries d'accumulateurs. Il peut être également commandé à la main.

Sur le circuit principal à trois fils sont branchées des dérivations alimentant les lampes et les moteurs. Tous les fils de la canalisation sont isolés et logés dans des tubes métalliques fixés aux murs par des crampons isolants.

L'éclairage des divers locaux comprend 102 lampes de 32 bougies et 93 de 16 bougies. La force motrice est distribuée par 7 moteurs de puissance variant de 3 à 36 chevaux, employés aux divers travaux de manutention des grains.

La chaine à godets de la tour élévatoire est mue par un moteur de 36 chevaux, disposé de telle façon qu'il peut être employé aussi bien à la commande de la chaîne à godets qu'à celle de l'élinde supportant ces derniers et plongeant dans la cale du navire à décharger. Il suffit pour cela d'en changer l'embrayage. La quantité de grain élevée en une heure avec ce dispositif est de 160 tonnes.

Le transport de ce dernier à l'intérieur des magasins s'effectue entièrement à l'aide de transporteurs électriques aériens dont la forme et le fonctionnement rappellent les trottoirs mouvants. Seulement, vu la distance (50 m) à franchir et la nécessité de pouvoir déverser le grain sur plusieurs points de la salle, on a préféré mettre trois transporteurs bout à bout et disposés en cascade. Les deux premiers ont environ 20 m de longueur;

le troisième n'a que 15 m. Ils se composent d'un châssis formé de deux longerons en fer en I assemblés par des entretoises et des tiges cylindriques servant d'axes à des rouleaux en bois. Aux deux extrémités se trouvent deux rouleaux de plus grand diamètre que les précédents, autour desquels s'enroule une toile sans fin caoutchoutée. L'axe de l'un de ces rouleaux est muni extérieurement d'un pignon denté qui reçoit la chaine de Galle venant du moteur. Ce dernier, d'une puissance de 18 chevaux pour les deux premiers transporteurs, est fixé sur l'une des poutres métalliques qui soutiennent le toit. Les transporteurs sont eux-mêmes suspendus par des barres rigides aux fermes du toit.

Le fonctionnement de l'ensemble est facile à saisir : le grain, à son arrivée au sommet de l'élévateur, tombe dans l'entonnoir d'une bascule automatique qui, lorsqu'elle a atteint sa charge de 5 000 livres, se déverse d'elle-même sur la toile du premier transporteur, qui le conduit au second, etc., jusqu'à l'extrémité du bâtiment, ou le déverse sur leur parcours. Il suffit pour cette dernière opération d'intervertir l'ordre de marche de l'un des transporteurs, qui alors, au lieu de transporter le grain à l'étape suivante, le précipitera sur le sol.

Les autres petits moteurs de 3 à 5 chevaux commandent, les uns, des ascenseurs transportables destinés à élever le grain d'un étage à l'autre. Le moteur est placé sur le chariot-support d'un cadre pourvu d'une chaîne à godets qu'il entraîne à l'aide d'une courroie. Les connexions s'établissent à l'aide de câbles souples spéciaux que l'on adapte aux prises de courant ménagées en de nombreux points du circuit principal et des dérivations.

Câbles téléphoniques sous papier. — Les câbles sous papier et à circulation d'air sec ont été introduits il y a quelques années dans le matériel de l'administration française des Postes et Télégraphes; leur emploi tend à se généraliser et il nous a paru intéressant de reproduire ici les renseignements statistiques rassemblés à ce sujet par M. Dominé et publiés dans les *Annales Télégraphiques* (3e série, t. XXIII, mai-juin 1897).

Le tableau ci-après indique les quantités des différents modèles livrés par les fournisseurs en 1896. Un nouveau modèle de câble à 224 paires vient d'être créé pour l'année 1897.

Quantités en kilomètres.	Modèle des câbles.	Diamètre du cuivre des conducteurs.
153 250	112 paires	1 mm
7 400	56 »	»
15 750	28 »	»
2 000	14 »	»
100 000	7 »	»
652 000	1 »	»
14 600	21 »	2 »
3 000	14 »	»
6 250	7 »	»
4 000	7 »	2.5 »
6 750	7 »	2 »
1 950	7 »	4 »
25 000	6 2	2 »
40 000	1 »	1,2 »

Ces 1 031,95 km de câbles ont été fractionnés en 3 187 bouts de longueur variable suivant les types et enroulés sur autant de bobines en fer ou en bois.

En réunissant bout à bout tous les conducteurs que renferment ces câbles, on obtiendrait une longueur totale de fil de 40 818,74 km ou bien de 20 409,37 km sur des circuits téléphoniques, puisqu'il s'agit d'installations téléphoniques comportant une ligne bifilaire.

Les matières invariablement employées dans ce genre de câbles sont le plomb, le cuivre, le papier et un peu de coton destiné à maintenir convenablement le câblage général des paires entre elles.

La quantité de ces diverses matières atteint pour chacune d'elles l'importance suivante :

Plomb.	1 961 473 kg
Cuivre.	317 593 »
Papier.	69 433 »
Coton	3 496 »

Au poids du plomb constituant l'enveloppe des câbles, on doit ajouter celui de 9 850 manchons divers, servant au raccordement et dont le poids total s'élève à 16 950 kg. Dans ce poids n'est pas compris celui des 441 910 petits manchons en papier également fournis à l'administration.

Toutes ces matières ont été, avant leur emploi, examinées et acceptées par le service de la vérification. La fabrication des câbles a été en outre surveillée dans tous ses détails. Ces derniers sont du type des câbles aérés. La facilité de la circulation de l'air a été vérifiée pour chaque bobine au moyen d'une injection d'air a une pression de

2 kg par cm²; cet air, introduit à l'une des extrémités du câble, devait commencer à se dégager à l'autre extrémité, après un temps variant de 1'30 à 5', suivant la longueur mise en essai.

Pour contrôler l'absence de piqûres ou de défauts dans l'enveloppe du plomb, on immergeait les câbles et on les soumettait, pendant cette immersion, à une pression d'air de 3 à 4 kg par cm².

Ces vérifications, faites sur les 3 187 bobines, ont nécessité 6 374 épreuves.

Les câbles qui ont satisfait à cette première série d'essais sont ensuite amenés dans une salle spéciale et disposés pour les essais électriques. Il a été pratiqué, sur les 1 031,95 km de câbles, 515 350 mesures d'isolement et de capacité, et 3 200 mesures sur la résistance électrique du cuivre. Enfin, l'absence d'induction d'une paire de conducteurs sur les autres a été vérifiée au moyen d'un dispositif spécial combiné en vue de rendre pratique l'expérience suivante : à circuits ouverts et sur la longueur d'un kilomètre, il ne doit pas être possible de percevoir au moyen d'un récepteur Ader, placé sur une paire quelconque, les paroles prononcées à très haute voix dans un microphone placé sur une autre paire.

Fabrication électrolytique de la soude et du chlore par le procédé Rhodin. — D'après *The Electrician*, du 29 octobre, des essais ont été faits récemment à Londres pour la fabrication de la soude et du chlore par l'électrolyse au moyen d'un nouvel électrolyseur imaginé par M. RHODIN, de Manchester.

Cet électrolyseur est formé d'une cuve circulaire en fer au fond de laquelle se trouve une couche de mercure servant de cathode. Au-dessus du mercure est située une série de cylindres courts en charbon de cornue, fixés à un couvercle circulaire tournant, en cuivre, recouvert d'un vernis vitrifié et relié au pôle positif de la source d'électricité. Le diamètre du couvercle étant plus petit que celui de la cuve, il reste entre les parois de celle-ci et les cylindres de charbon un espace annulaire. Au début de l'opération on remplit cet espace annulaire d'eau pure, en même temps qu'on fait arriver la solution de chlorure à électrolyser par un tube aboutissant au centre du couvercle tournant. On lance alors le courant et l'on fait tourner le couvercle. La solution de chlorure, en passant entre le mercure et les cylindres de charbon, est décomposée par le courant; le chlore se dégage sur le charbon et est conduit hors de l'appareil par un tube fixé au centre du couvercle tournant et intérieur au tube d'amenée de la solution de chlorure ; le sodium forme avec le mercure un amalgame qui, au contact de l'eau, donne de la soude et de l'hydrogène. Par suite du mouvement de rotation du couvercle et des anodes en charbon qui y sont fixés, il se forme à la surface du mercure un mouvement tourbillonnaire qui entraine constamment vers la périphérie les portions centrales ; par suite, l'amalgame formé dans la région située au-dessous des charbons est rejeté immédiatement dans les régions périphériques où a lieu sa décomposition, de sorte que le dégagement de l'hydrogène et le départ de la solution de soude s'effectuent par l'espace annulaire compris entre les cylindres de charbon et les parois de la cuve ; de plus, les régions centrales de la couche mercurielle se trouvant constamment renouvelées en mercure presque pur, la formation de l'amalgame est de beaucoup facilitée.

La cuve électrolytique est chauffée extérieurement de manière à porter le liquide à une température voisine de l'ébullition. Il résulte de là plusieurs avantages qui augmentent considérablement le rendement de l'appareil. En premier lieu, la quantité de chlore entrainé par dissolution est moins grande. En second lieu, la décomposition de l'amalgame est rendue plus rapide. Enfin la résistance électrique se trouve réduite, de sorte que la différence de potentiel nécessaire à la décomposition se trouve abaissée ; cette différence de potentiel est, d'après les essais, de 3,3 volts par cuve.

L'inventeur revendique d'ailleurs d'autres avantages en faveur de son appareil : sa construction serait moins coûteuse que celle des électrolyseurs actuellement en usage ; il évite toute perte de mercure ; le remplacement des anodes est très facile et d'ailleurs leur usure est minime. Ajoutons qu'à la suite de ces essais la construction d'une usine où ce procédé sera appliqué a été décidée.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XIII. Samedi 13 Novembre 1897 4e Année. — N° 46.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

LES NOUVELLES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES HEILMANN

A la suite des résultats encourageants obtenus en 1894 sur la ligne du Havre, avec la première locomotive électrique « La Fusée », la Société Heilmann se décida à entreprendre la construction d'un nouveau type de locomotive, réalisé en deux exemplaires de façon à permettre un service de trains réguliers par l'électricité, et beaucoup plus puissant de manière à pouvoir remorquer à grande vitesse des trains très lourds. La première machine Heilmann ne pouvait développer qu'une puissance mécanique génératrice de 700 chevaux; on assigna aux deux nouvelles locomotives une puissance presque double, 1 350 chevaux.

La Compagnie de l'Ouest, sans donner une commande ferme, laissa entendre à M. Heilmann qu'elle ferait probablement l'acquisition des deux locomotives électriques, si elle était satisfaite des résultats obtenus, après les avoir fait fonctionner un certain temps à l'essai, ou au besoin en location. Afin d'éviter toute difficulté ultérieure de réception, dans le cas d'achat définitif des machines, la Compagnie de l'Ouest proposa à la Société Heilmann de faire suivre et vérifier la construction des diverses pièces des locomotives par ses propres agents. La Société Heilmann accepta cette combinaison, et pour en faciliter la réalisation décida de faire exécuter la construction de la carcasse et le montage de toutes les pièces à Paris, dans les ateliers Cail, en ne faisant construire au dehors que les machines à vapeur et électriques. Toutes les pièces principales ont été ainsi vérifiées par les agents réceptionnaires de l'Ouest; M. Mazen, inspecteur de la Compagnie, a même participé à l'étude des locomotives.

Les dispositions principales des organes des nouvelles locomotives étant complètement différentes de celles adoptées sur la première « Fusée », ainsi que nous l'avons expliqué précédemment [1], il fallut refaire une étude complète des machines qui demanda beaucoup de temps. De plus, on n'a pas voulu attendre que la première locomotive fût terminée et essayée avant de commencer la seconde : on a cherché à construire les deux machines parallèlement. Mais comme on ne pouvait pourtant pas construire en double, du premier coup, des pièces nouvelles que l'on pouvait être obligé ensuite de modifier, on a procédé par étapes successives : les divers organes ont été construits l'un après l'autre, en deux exemplaires, mais en faisant

[1] Voy. *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 156, 17 avril 1897.

toujours l'essai et au besoin les modifications nécessaires sur la première locomotive avant d'exécuter la pièce correspondante de la seconde. Ces tâtonnements inévitables expliquent pourquoi l'on est resté si longtemps sans entendre parler des nouvelles machines Heilmann. Mais, grâce à cette méthode de travail, la Société Heilmann va pouvoir livrer presque en même temps ses deux locomotives, dont toutes les pièces auront été au préalable soigneusement essayées, et qui par conséquent n'auront probablement besoin de subir aucune modification avant d'entrer en service effectif.

La première locomotive est complètement terminée et se trouve garée sur les voies de la Compagnie de l'Ouest, à Achères, depuis déjà plus de deux mois. Lorsque nous l'avons visitée, avant qu'elle ait quitté les ateliers Cail, nous avons vu en chantier la deuxième machine, qui possédait déjà tous ses organes principaux : chaudière, moteurs à vapeur, dynamos génératrices et réceptrices, et à laquelle il ne manquait que les appareils accessoires, tels que tableau de distribution, tuyauterie de vapeur et d'air comprimé, etc. Cette seconde locomotive est à présent complètement achevée et ira rejoindre la première dans quelques jours sur les voies de l'Ouest. Lorsque celle-ci aura subi tous les essais auxquels on va la soumettre, on pourra ainsi commencer aussitôt un service régulier de traction électrique à l'aide des deux machines.

La première locomotive Heilmann, malgré ses 16,50 m de longueur, paraissait plutôt massive qu'effilée; la nouvelle, qui est pourtant aussi haute et aussi large que la première, et qui n'a que 2 m de plus de longueur, donne l'impression d'un corps très élancé parce que les deux bogies qui la supportent, au lieu d'être très rapprochés, sont reportés tout à fait aux extrémités du véhicule et laissent sous le milieu du châssis un vide de 5,50 m qui donne de la légèreté à l'ensemble de la machine, comme on peut s'en rendre compte par la photographie rereproduite sur la figure 1.

La plupart des détails de construction du véhicule sont visibles sur les figures 2 et 3 qui représentent l'élévation et le plan de la locomotive. Le châssis proprement dit est constitué par deux forts brancards en acier A_1 A_2 de 17,10 m de longueur, ayant une hauteur de 0,70 m en leur milieu et de 0,38 m dans l'axe des bogies, et reliés à leurs extrémités par deux traverses en acier B de 2,95 m de longueur. Ce châssis repose sur deux bogies dont les pivots *n* sont à 11,30 m d'écartement l'un de l'autre. Ces bogies ont chacun quatre essieux; ils se composent (fig. 2) de deux forts longerons extérieurs en acier *a*, de 5,30 m de longueur, réunis à leurs extrémités par deux entretoises pleines. La partie supérieure a_1 de chaque longeron, qui est pleine et forme brancard, supporte en son milieu un petit cylindre à frein extérieur *b*; la partie inférieure qui est ajourée supporte les plaques de garde des boîtes à huile de quatre essieux et la chape de deux ressorts à lames b_1 b_2, à flexion verticale de bas en haut, aux extrémités desquels sont fixées les boîtes à huile. A la partie inférieure des longerons sont également fixées les pièces de timonerie du frein Westinghouse qui manœuvre sur quatre sabots, agissant sur l'un des côtés de chaque roue et placés deux au milieu du bogie et les autres aux deux extrémités du truck. Les quatre paires de roues, qui sont renfermées à l'intérieur du cadre de chaque bogie, mesurent 1,16 m de diamètre et possèdent l'écartement normal de 1,50 m. Les essieux extrêmes du véhicule sont distants de 15,40 m et les deux essieux intérieurs de 7,20 m, les essieux d'un même bogie sont distants de 1,30 m à 1,50 m. Les longerons des trucks sont réunis à leur partie supérieure et en leur milieu par une traverse horizontale formant au centre du bogie une crapaudine *n* dans laquelle s'engage un axe ou cheville fixée au milieu d'une entretoise de châssis et prenant point d'appui sur le bogie par une cuvette graissée.

Le châssis porte à chacune de ses extrémi-

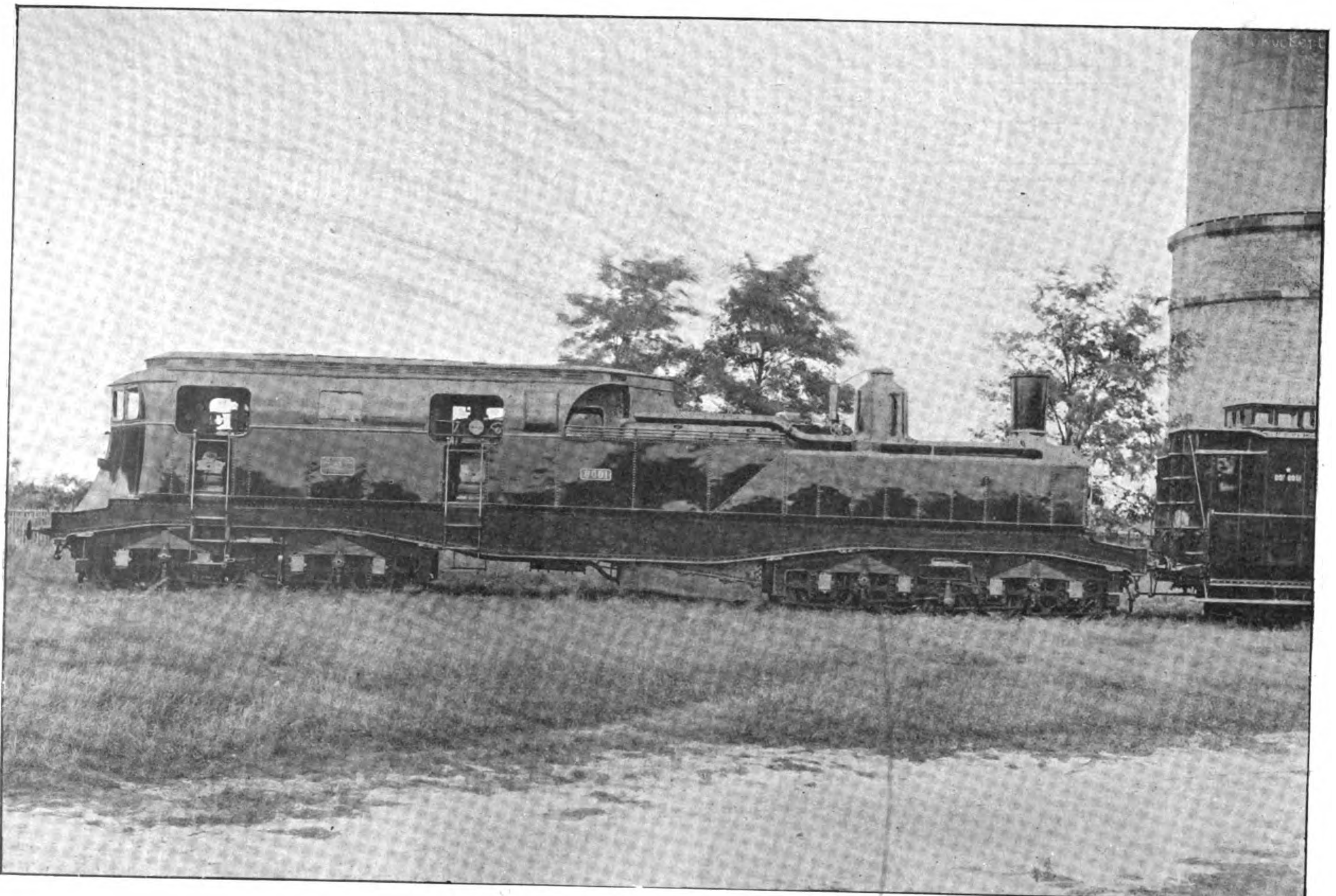


Fig. 1. — Vue extérieure de la nouvelle locomotive Heilmann.

tés un tendeur, des chaînes d'attelage, un tuyau d'arrivée d'eau et un boyau de frein en caoutchouc, de façon que la locomotive puisse être attelée des deux côtés. Sous le châssis sont également fixés des câbles électriques terminés aux deux bouts par des pièces d'accouplement pouvant se raccorder à des câbles semblables montés sur un fourgon-tender que l'on peut accrocher derrière la locomotive. On a aménagé en effet, à titre d'essai, un fourgon spécial supporté par deux bogies à deux essieux, dont chacun est muni d'un moteur électrique, afin de faire des expériences de remorquage de trains de marchandises, en utilisant comme essieux moteurs non seulement les huit essieux de la locomotive mais encore les quatre essieux du fourgon. Ce fourgon, qui est très long, sert en même temps de tender; il peut contenir dix-huit tonnes d'eau. Il sort d'une fabrique de construction de matériel de chemin de fer et ne se trouvait pas aux ateliers Cail lors de notre visite; nous ne le décrirons donc pas maintenant.

Le châssis et les bogies, c'est-à-dire la carcasse proprement dite

Fig. 2 et 3. — Élévation et plan de la nouvelle locomotive Heilmann.

de la locomotive, ont été étudiés avec soin de manière à obtenir le minimum de poids compatible avec la solidité nécessaire. On est arrivé ainsi à une carcasse relativement beaucoup plus légère que dans la première locomotive : dans cette dernière, le châssis et les bogies pesaient 29,300 tonnes tandis qu'ils ne pèsent guère plus (34 tonnes) dans les nouvelles locomotives d'une puissance presque double.

La moitié arrière de la locomotive est occupée, comme dans la première Fusée, par la chaudière qui est découverte ; la partie avant est recouverte entièrement par une enveloppe en tôle C, terminée par un coupe-vent C_1 en forme de proue de navire, afin de diminuer la résistance de l'air aux grandes vitesses.

La chaudière de la première locomotive Heilmann, du type Lentz, à foyer ondulé, avait 289 tubes de 2,90 m de long, avec une surface de grille de 2,25 m² et une surface totale de chauffe de 145 m² ; elle produisait de la vapeur à 12 kg. Ce système de chaudière était caractérisé par des tubes très courts et un foyer profond se continuant par une chambre de combustion ; il fonctionnait bien, mais donnait une production de vapeur un peu faible, comparée à son poids. Dans les nouvelles machines on est revenu au type ordinaire des chaudières de locomotives, à foyer Belpaire, en cuivre, et l'on a élevé la pression de 12 à 14 kg. Cette nouvelle chaudière a un poids spécifique beaucoup plus faible que l'ancienne, car elle peut vaporiser facilement 13 500 litres d'eau à l'heure au lieu de 9000 à 10 000 litres, tout en ne pesant que 23,7 tonnes au lieu de 29,3 tonnes, c'est-à-dire en étant même plus légère que la première. Dans le chiffre de 23,7 tonnes est compris le poids d'eau, 5,3 tonnes, contenu en moyenne dans la nouvelle chaudière.

Celle-ci mesure (fig. 2), de la porte de la boîte à fumée β à la porte *g* du foyer 7,80 m de long, c'est-à-dire à peu près la même longueur que l'ancienne et occupe sur le châssis une longueur de 8,60 m, car une vaste plate-forme de 0,80 m de long est ménagée sur le châssis, en arrière de la boîte à fumée β, pour faciliter le nettoyage de cette dernière. Le corps D de la chaudière, qui est en fer, a 1,60 m de diamètre et 5 m de longueur. Il repose directement sur les traverses du châssis. Les tubes, au nombre de 350, ont 3,80 m de long et 169 m² de surface de chauffe ; le foyer, présentant lui-même une surface de chauffe de 16,5 m², la surface de chauffe totale est de 185,5 m². La boîte à feu E (fig. 2) mesure à la partie arrière 2,60 m de hauteur, et à la partie avant 2,20 m ; elle est fixée par ses parois latérales sur deux traverses longitudinales du châssis entre lesquelles elle descend. Le cendrier F a 0,40 de hauteur et se trouve à sa partie arrière juste à la limite du gabarit, à 0,184 m seulement au-dessus du niveau des rails. Le foyer en cuivre, du type ordinaire des locomotives, a 3,35 m² de surface de grille. La cheminée, dont la partie supérieure est à 4,20 m au-dessus du niveau des rails, se trouve en marche normale à l'arrière de la locomotive, contrairement à la disposition usuelle des locomotives. La machine Heilmann peut néanmoins marcher, s'il est nécessaire, avec cheminée en avant ; mais ce bout du véhicule, n'étant pas disposé en pointe, offre alors une plus grande résistance au vent.

Deux soutes à eau rectangulaires G_1 G_2, pouvant contenir ensemble 7 tonnes de liquide, sont placées des deux côtés du corps D de la chaudière (fig. 3). Elles mesurent 0,50 m de large, 1,10 m de haut, et comme longueur 6,20 m à la base et 4,90 m au sommet de l'arête diagonale qui les termine (fig. 2). Deux soutes à charbon H_1 H_2, pouvant contenir 4,5 tonnes de combustible, et ayant une longueur de 3,60 m en haut et de 2,30 m en bas (fig. 2), font suite aux soutes à eau sur les côtés de la chaudière et dépassent même de 0,90 m la porte *g* du foyer (fig. 3). Ces provisions d'eau et de combustible sont légèrement plus faibles que celles de l'ancienne locomotive dont les soutes contenaient 12 tonnes d'eau et 6 tonnes de charbon ; mais

nous avons vu plus haut que la nouvelle locomotive pourra être suivie d'un fourgon-tender renfermant 18 tonnes d'eau, de façon à ne pas manquer d'eau pendant les longs trajets effectués sans arrêt. L'eau d'alimentation, puisée dans les soutes, arrive par des tuyaux passant sous le châssis, et est envoyée dans la chaudière par deux injecteurs Friedmann fixés au-dessus de la porte du foyer.

La chaudière, avec ses soutes à charbon et à eau occupe une largeur de 2,70 m. La partie de la locomotive située en avant des soutes, a également 2,70 m de largeur extérieure, et forme avec son enveloppe en tôle une sorte de chambre fermée ou salle des machines K (fig. 3) terminée en pointe C_2 et mesurant intérieurement 7,40 m de long, 2,55 m de large et 2,40 m de haut. On accède dans cette salle par deux marche-pieds et deux baies J_1 J_2 J'_1 J'_2 (fig. 1 et 2) percées vers les extrémités de chacune des faces latérales du revêtement en tôle C. Entre les deux baies se trouve, de chaque côté une fenêtre (fig. 1) fermée par une glace ; quatre autres fenêtres l_1 l_2 l'_1 l'_2 (fig. 1 et 2) sont disposées en outre sur la partie avant en pointe de la chambre. La salle des machines se prolonge à la partie arrière (fig 3) par un petit espace I, de 1,20 m de long et 0,90 m de profondeur, situé entre les soutes à charbon H_1 H_2, devant le foyer *g*E de la chaudière. Cette petite chambre, qui constitue le poste de chauffe, est recouverte, comme la salle des machines, par une enveloppe en tôle c_3 (fig. 2 et 3), de même hauteur, qui se prolonge à l'arrière, au-dessus du foyer, en forme de pointe de 1,80 de longueur (voir fig. 1 et 3), jouant le rôle d'abri fermé destiné à protéger le chauffeur dans le cas de marche arrière. Les deux faces latérales planes ainsi que les faces inclinées de l'abri d'arrière sont munies chacune d'une fenêtre l_3 l_4 l'_3 l'_4 (fig. 1 et 3).

La salle des machines est occupée presque entièrement par le groupe générateur électrique, composé d'un moteur à vapeur MM' et de deux dynamos N_1 et N_2 (fig. 2 et 3); mais une sorte de passage ou couloir m_1 m_2 (fig. 3) est ménagé de chaque côté de ce groupe de machines, de sorte que l'on peut aller librement du poste de manœuvre ordinaire L du mécanicien, ou espace libre situé en avant du groupe générateur du côté de l'avant-bec de la locomotive, jusqu'au poste de chauffe I qui se trouve en arrière de la salle des machines. Dans la première Fusée au contraire les postes du mécanicien et du chauffeur ne communiquaient pas entre eux.

Le moteur à vapeur constituait, on se le rappelle, la partie faible de l'ancienne locomotive, parce que la disposition horizontale des cylindres, placés suivant l'axe transversal, avait empêché de leur donner le développement nécessaire et de dépasser une puissance effective de 600 chevaux. C'était une machine équilibrée tournant à 360 tours par minute, à double effet, à deux cylindres compounds montés de part et d'autre de l'axe et ayant une course commune de 300 mm; le cylindre à haute pression, marchant à 12 kg, avait 425 mm de diamètre et celui à basse pression 650 mm. Dans les nouvelles locomotives, le moteur à vapeur vertical équilibré, dont nous avons fait connaître la disposition de principe dans notre précédent article, est encore une machine compound, mais avec des cylindres en tandem, et fonctionnant à simple effet et à une pression de 14 kg.

Elle se compose de deux groupes symétriques M M' (fig. 5 et 6) formés chacun de trois lignes verticales de cylindres tandems, calées à 120° l'une de l'autre. L'ensemble, représenté en élévation plan et vue de bout sur les figures 4, 5 et 6, constitue une sorte de bloc occupant (fig. 3 et 2) 3,50 m de longueur 1,50 m de largeur et une hauteur de 2,40 m presque égale à celle de la salle. Les cylindres à haute pression p_1 p_2 p_3 p'_1 p'_2 p'_3 qui sont situés à la partie supérieure (fig. 4, 5 et 6) ont 300 mm de diamètre; les cylindres à basse pression P_1 P_2 P_3 P'_1 P'_2 P'_3 (fig. 4 et 5) qui sont placés au-dessous des précédents ont 480 mm de diamètre; la course commune des pistons

est de 400 mm dans les cylindres, qui à eux deux prennent une hauteur totale brute de 1,25 m. Les six bielles et manivelles sont enfermées dans un cadre ou enveloppe protectrice en tôle Q, de 1,15 m de hauteur, allant de la base des cylindres jusqu'au plancher de la salle et renfermant à sa partie inférieure un bain d'huile dans lequel viennent plonger les articulations mobiles. Sur les faces latérales de l'enveloppe Q sont disposés quatre ou cinq regards $q_1\ q_2\ q_3\ q_4\ q'_5$ (fig. 4 et 5) que l'on peut dévisser pour examiner la marche de l'attirail mobile. La partie inférieure du cadre protecteur est renforcée et forme un bâti S fixé sur les traverses du châssis. La distribution, qui dans les machines Willans est généralement

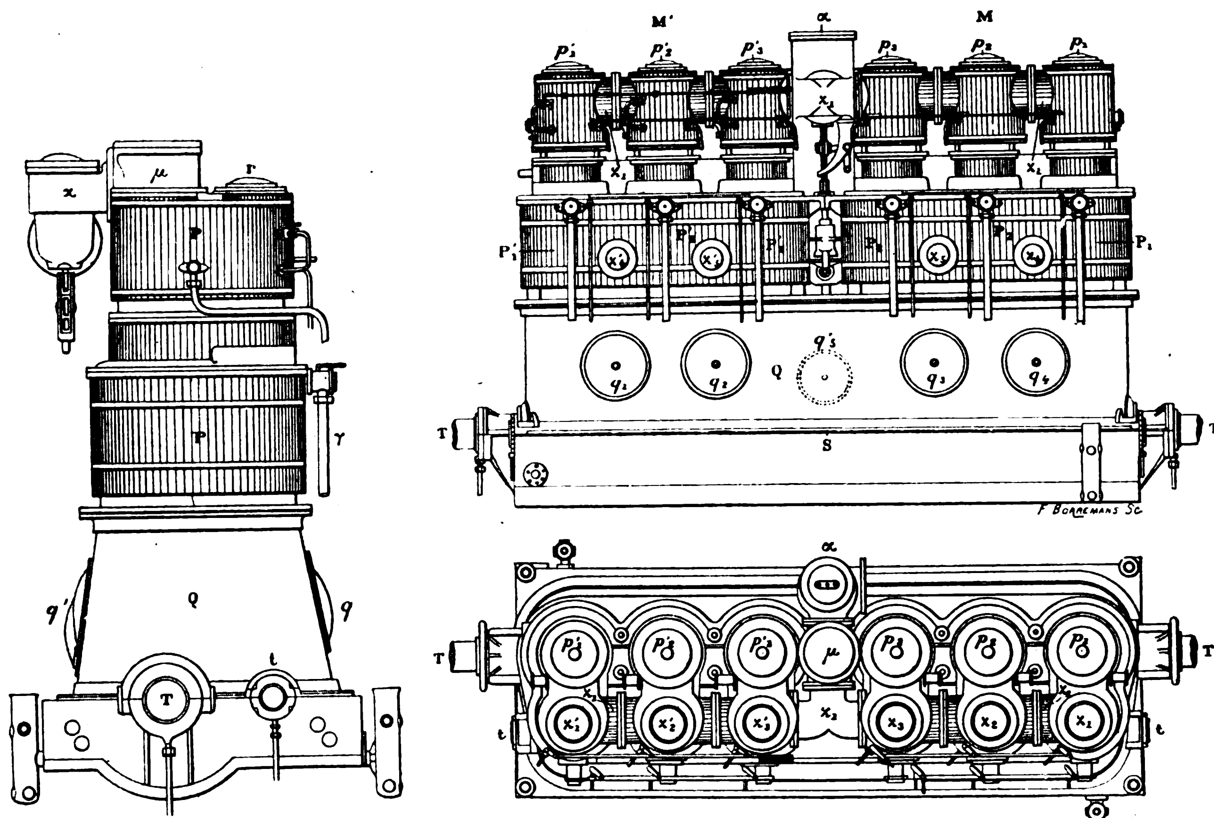


Fig. 4 à 6. — Vue en bout, en élévation et en plan du moteur à vapeur.

centrale, est effectuée dans ce moteur latéralement, à l'aide de six tiroirs cylindriques supérieurs pour la haute pression et six tiroirs inférieurs pour la basse pression. Ces tiroirs sont placés à côté des cylindres correspondants et la même enveloppe calorifuge en bois enveloppe les deux organes; on voit les tiroirs supérieurs $z_1\ z_2\ z_3\ z'_1\ z'_2\ z'_3$ en avant sur les figures 5 et 6, et à droite sur la figure 4; ils sont commandés par un petit axe *t* (fig. 4 et 6) recevant le mouvement par engrenages de l'arbre principal T (fig. 4, 5 et 6), situé parallèlement et sur le même plan horizontal, à 30 cm seulement au-dessus du plancher de la salle.

La vapeur venant du dôme de la chaudière sort par un régulateur U (fig. 2 et 3) monté sur le corps tubulaire, à 0,90 m en avant du dôme, et se rend, par un tuyau unique V_1 en cuivre longeant le milieu du plafond de la salle K (fig. 4, 5 et 6) dans une valve d'arrêt α, située en arrière des cylindres *p* à haute pression. On ne se sert du régulateur manœuvré par la manette située devant la porte du

foyer (fig. 2) et de la valve α qu'au moment de la mise en route, et on laisse l'admission de la vapeur constante pendant toute la durée de la marche. La vapeur pénètre dans le moteur à la pression de 14 kg, sans avoir subi de détente, par une culotte ou collecteur horizontal ζ_1 (fig. 5 et 6) réunissant les six tiroirs à haute pression ζ. La vapeur d'échappement sortant des deux groupes P et P′ de trois cylindres à basse pression se réunit également dans deux culottes ou collecteurs horizontaux inférieurs (non visibles sur les figures 5, 6 2 et 3), d'où partent deux tuyaux de branchement verticaux (voir fig. 3 et 5) ζ_4 ζ_5 ζ'_4 ζ'_5 se rendant dans deux grosses conduites horizontales ζ_2 ζ_3 (fig. 2 et 3). Ces deux conduites longent le plafond, des deux côtés de la conduite d'arrivée de vapeur d'abord dans la salle des machines K puis dans le poste de chauffe I et ensuite descendent sur les deux côtés de la chaudière pour venir se jeter, à la manière ordinaire, dans la boîte à fumée β.

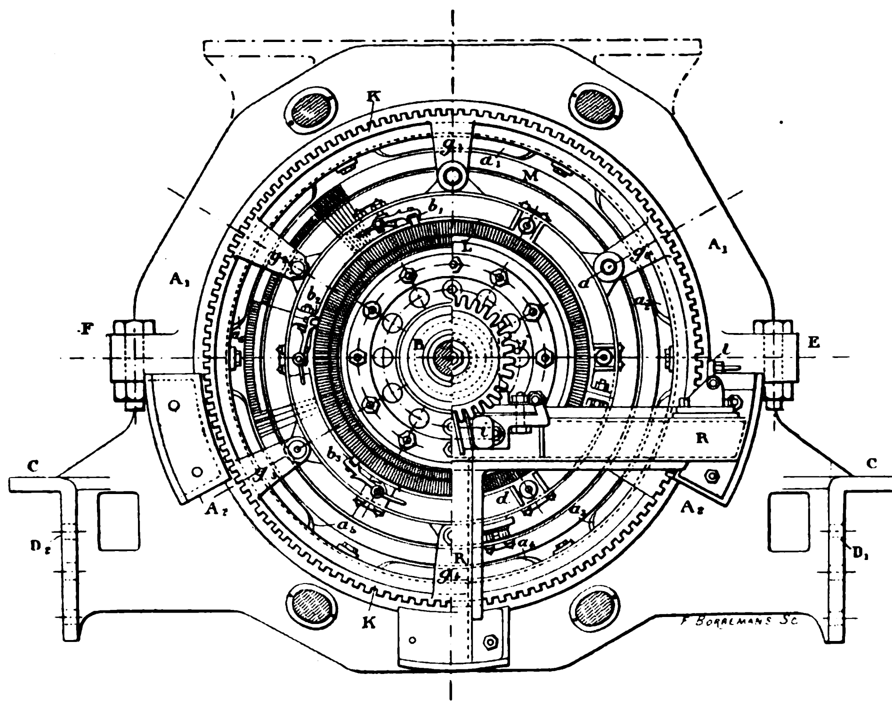


Fig. 7. — Coupe transversale d'une dynamo génératrice.

Les six tuyaux verticaux assez petits que l'on voit sur les figures 3, 4 et 5), en avant des gros cylindres servent de dégagement à des soupapes de sûreté; les six tuyaux plus petits placés à côté sont des tubes de purge. Le moteur est muni d'un appareil de sécurité ou limitateur de vitesse, composé d'un petit système centrifuge (fig. 5) qui n'agit qu'à partir d'une certaine vitesse dangereuse, en fermant l'admission de vapeur par une valve de sûreté μ (fig. 4 et 5) située après la valve d'arrêt et avant les tiroirs. Le système centrifuge est réglé à la vitesse dangereuse ou à une vitesse inférieure au moyen d'un petit volant placé au milieu et en avant du moteur, et dont l'arbre porte une aiguille se déplaçant sur un cadran gradué en nombre de tours par minute. La valve de sûreté peut être également commandée directement par l'intermédiaire de deux petits arbres légers longeant le moteur et se terminant sur le bâti des dynamos N_1 N_2 vis-à-vis des deux postes de manœuvre $m_3 m_4$ (fig. 3) du mécanicien, postes dont il sera parlé plus loin. Ces tiges peuvent être manœuvrées par un volant, mais il n'y a qu'un seul volant pour les deux postes, afin d'être sûr que la

valve de sûreté ne soit jamais manœuvrée des deux côtés à la fois. La vitesse angulaire de la machine à vapeur est de 400 tours par minute en moyenne, c'est-à-dire un peu supérieure à celle de l'ancienne locomotive.

On peut voir sur les figures 2 et 3, accolée en avant de la dernière ligne de cylindres, une petite machine à vapeur directe N actionnant une pompe alimentaire Westinghouse qui fournit, comme dans les locomotives ordinaires, l'air comprimé lancé dans la conduite générale du frein. La vapeur nécessaire à cette petite machine est amenée par une petite conduite spéciale v_2 (fig. 3) partant du régulateur U placé sur la chaudière.

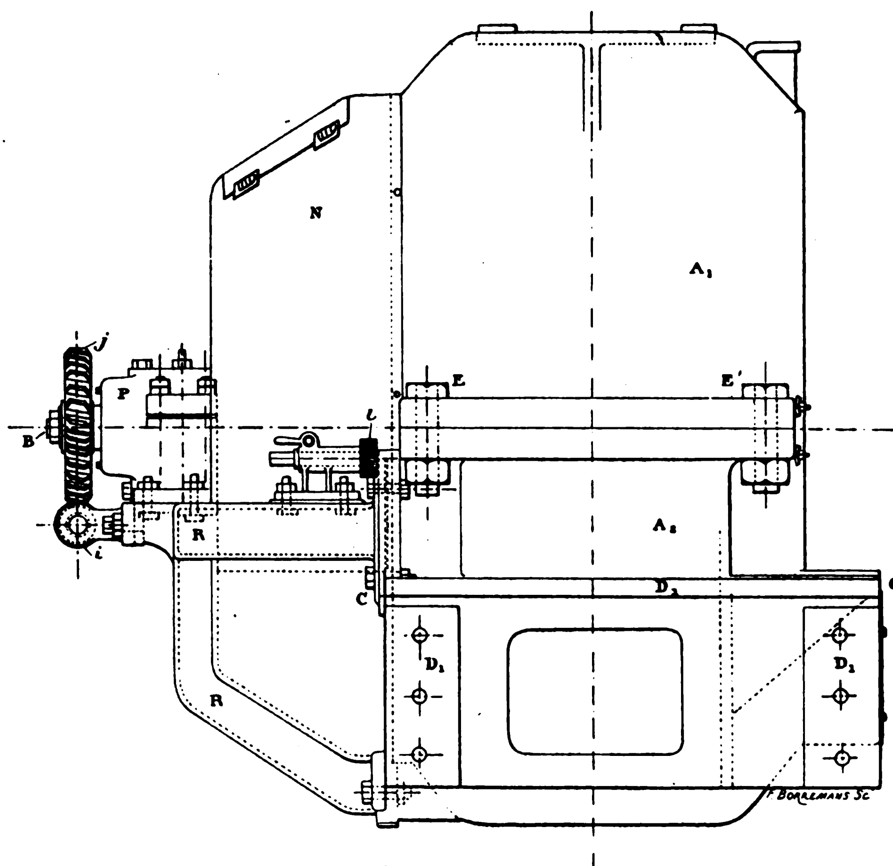


Fig. 8. — Vue extérieure d'une dynamo génératrice dans le sens longitudinal de la locomotive.

L'arbre principal du moteur à vapeur est accouplé directement, à ses deux extrémités, à l'arbre de deux dynamos génératrices identiques N_1 N_2 (fig. 2 et 3). Les figures 7 et 8 donnent une coupe transversale et une vue longitudinale de ces dynamos. Le bâti en acier coulé inducteur de ces dynamos est hexagonal et mesure environ 1,60 m de diamètre et 0,80 m de longueur ; il est divisé en deux parties A_1 A_2 boulonnées ensemble en EE' FF'. L'arbre B de la machine à vapeur, et par suite des dynamos, se trouvant à 0,30 m seulement au-dessus du plancher C, il n'était pas possible de faire reposer directement la partie inférieure du bâti des génératrices sur le châssis ; les dynamos descendent donc au-dessous du châssis entre deux traverses longitudinales sur lesquelles elles sont fixées par deux fortes pattes D_1 D_2 solidaires de la moitié inférieure A_2 du bâti (fig. 7 et 8).

Les six pièces polaires radiales a_1 a_2 ... a_6 (fig. 7) venues de fonte à l'intérieur du

bâti sont larges et très courtes, car le diamètre extérieur de l'induit mobile M est de 1,05 m.

Cet induit, dont le noyau est denté, porte un enroulement en tambour relié à un collecteur L de 0,68 m de diamètre et 0,25 de large, sur lequel appuient 6 balais en charbon $b_1 b_2 \ldots b_6$ calés à 60° l'un de l'autre et montés sur une couronne en bronze à nervures *dd* (voir fig. 7) de 0,85 m de diamètre, soutenue elle-même par 6 pattes $g_1 g \ldots, g_6$ solidaires d'une couronne mince K de 1,20 m de diamètre. Cette dernière est montée dans une gorge latérale du bâti et porte une denture extérieure qui permet de la faire tourner à l'aide d'un pignon *l* (fig. 7 et 8) commandé par un petit volant à main. On peut régler ainsi, une fois pour toutes, le calage des balais, auxquels on ne touche plus ensuite, pendant les diverses périodes de la marche. Le pignon *j* et la crémaillère *i* que l'on voit à l'extrémité de l'axe ne concernent nullement la dynamo et servent à déplacer les pièces de la machine à vapeur lorsqu'on veut examiner celle-ci. Le collecteur et ses porte-balais sont protégés par une enveloppe en laiton circulaire N (fig. 8) ne portant que quelques ouvertures pour la ventilation. Le palier P qui supporte l'extrémité de l'arbre (fig. 8) est monté en porte à faux sur un bras R fixé à la partie inférieure A_2 du bâti de la dynamo.

Les dynamos génératrices, qui tournent à 400 tours par minute, peuvent fournir chacune environ 920 ampères avec une tension variant de 450 à 500 volts, soit une puissance de 450 kilowatts ou 620 chevaux électriques, et pour l'ensemble de la locomotive une puissance normale de 1 200 chevaux, qui peut être dépassée notablement en cas de besoin.

Les génératrices sont à excitation indépendante, c'est là surtout ce qui les caractérise ; elles absorbent chacune, au maximum, un courant de 50 ampères à la tension de 110 volts, soit 5 500 watts ne représentant pas même 2 pour 100 de leur puissance totale. Le courant inducteur des deux génératrices est fourni par une seule dynamo excitatrice.

Cette petite dynamo, qui est à quatre pôles, a été fabriquée, comme les grosses, par la maison Brown. Elle est construite sur le même type que les moteurs représentés sur la figure 9. L'induit est un tambour denté de 0,34 m de diamètre, terminé par un collecteur sur lequel appuient deux balais en charbon disposés à 90° l'un de l'autre. L'inducteur en acier coulé est formé de deux culasses verticales, avec courtes pièces polaires, boulonnées sur deux pièces horizontales sans bobines, mais portant deux pièces polaires. Les enroulements des deux bobines inductrices sont de sens contraires, de façon à développer non pas deux pôles conséquents, comme dans les dynamos type Manchester, mais quatre pôles de polarités alternées. Le collecteur est protégé, comme celui des génératrices, par une enveloppe en laiton. L'ensemble forme un bloc de 0,55 m de longueur, 0,80 m de largeur et seulement 0,43 m de hauteur, dont la face inférieure est fixée sur le sommet du bâti de la dynamo génératrice d'arrière N_1 (fig. 2), sur la partie marquée en pointillé de la figure 7. Sur ce même bâti est fixé également (voir fig. 2 et 3) le petit moteur à vapeur N_2 qui actionne la dynamo excitatrice et qui est accouplé directement avec celle-ci. L'arbre du groupe excitateur est perpendiculaire à l'axe longitudinal de la locomotive, et les diverses pièces qui composent ce groupe sont disposées de façon à former autant que possible une masse équilibrée sur le véhicule.

La machine à vapeur qui conduit l'excitatrice est un petit moteur vertical Willans de 1,20 m de hauteur, à deux cylindres jumellés, calés à 180° sur un axe inférieur ; sa vitesse angulaire est de 550 tours par minute. Elle fonctionne à simple effet à la pression de 8 kg seulement. Elle reçoit la vapeur par une petite conduite spéciale v_2 (fig. 3) partant du régulateur U de la chaudière et passant par un détendeur avant d'entrer dans les cylindres ; le tuyau d'échappement est branché sur une des grosses conduites z_2 des machines à vapeur. Dans ce petit moteur la distribution

est centrale, suivant le type généralement adopté sur les machines Willans.

La dynamo excitatrice peut fournir 140 ampères à la tension de 110 volts. Les circuits inducteurs des deux génératrices n'absorbant que 100 ampères environ, l'excitatrice pourra servir en même temps, si on le désire, à l'éclairage du train; elle est utilisée dès maintenant à l'éclairage de la locomotive au moyen de six lampes de 16 bougies placées, une dans le poste du chauffeur I, entre la machine à vapeur et la chaudière, une à l'avant dans le poste du mécanicien L, et deux dans chacun des couloirs latéraux m_1 m_2. Ces lampes sont fixées au plafond de la salle et renfermées dans une enveloppe protectrice en verre.

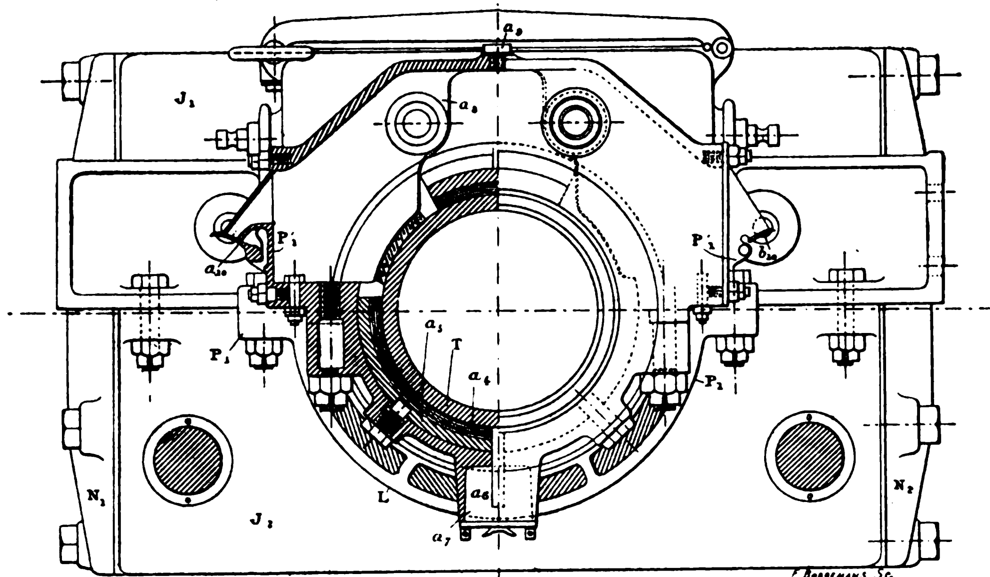


Fig. 9. — Vue extérieure d'un moteur électrique transversalement à l'essieu.

Par suite d'une erreur du dessinateur, les lettres de la figure 9 ayant été renversées, on doit regarder cette figure en retournant la feuille.

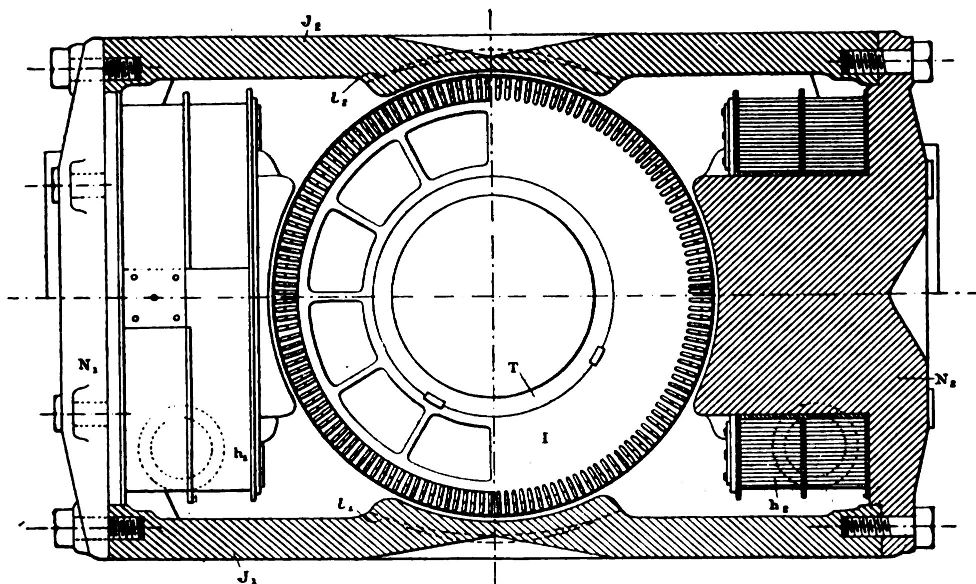


Fig. 10. — Coupe d'un moteur électrique transversalement à l'essieu.

Le courant produit par les deux dynamos génératrices sert à donner le mouvement à huit moteurs électriques montés sur les huit essieux de la locomotive ; tous les essieux du véhicule étant moteurs, le poids total de la locomotive, c'est-à-dire 124 tonnes, doit être compté comme adhérent. La figure 9 donne une vue extérieure et la figure 10 une coupe de ces moteurs, toutes deux dans un plan parallèle à l'axe longitudinal du véhicule. L'inducteur en acier coulé se compose de deux pièces horizontales J_1 J_2 sans bobines et avec pièces polaires l_1 l_2 (coupe de la figure 10) et de deux pièces verticales N_1 N_2 (fig. 9 et 10) portant deux courtes bobines excitatrices h_1 h_2. Le bâti inducteur, qui forme une sorte de boîte fermée de 1,20 m de longueur, 0,97 m de largeur parallèlement à l'axe et 0,71 m de hauteur, traversée seulement par une ouverture centrale, se compose de parties solidement boulonnées ensemble : deux cuvettes (fig. 9 et 13), une supérieure J_1 et une inférieure J_2, dont les deux faces perpendiculaires à l'axe se rejoignent par les demi-collerettes P_1 et P'_1, P_2 et P'_2 (fig. 9 et 13), et dont les deux autres faces de côté portent une large échancrure circulaire pour recevoir les deux plaques latérales (marquées N_1 N_2 sur les figures 9 et 10

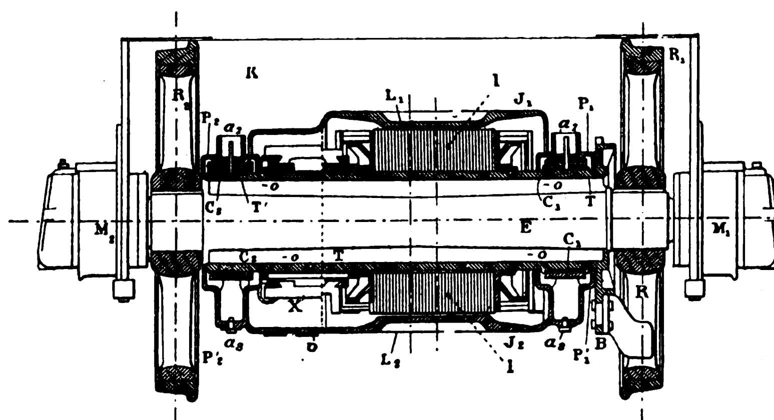


Fig. 11. — Coupe d'un essieu moteur dans le sens transversal du véhicule.

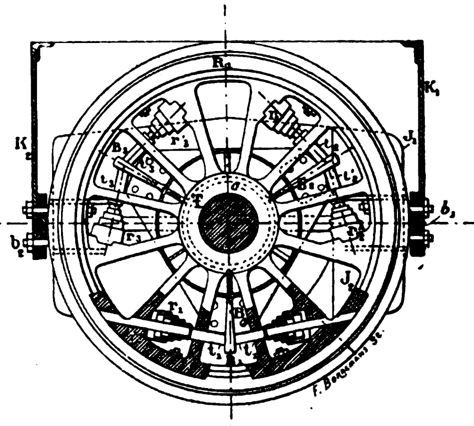


Fig. 12. — Vue de face d'un essieu du côté de la roue motrice.

et F_1 sur la figure 13) portant les bobines excitatrices. L'induit denté I (fig. 10 et 11), qui mesure 0,60 m de diamètre extérieur et 0,90 m de longueur, porte un enroulement en tambour relié aux lames du collecteur X (visible seulement sur la coupe transversale de la figure 11). Les balais en charbon, qui ne sont pas représentés sur la figure 11, sont calés à 45° de part et d'autre de la verticale et appuient sur la partie inférieure du collecteur X qui a 0,48 m de diamètre et 0,18 m de largeur ; les porte-balais sont fixés sur la cuvette inférieure du bâti. Cette cuvette porte en dessous une porte *v* (fig. 11) qui permet d'examiner les balais et de soigner le collecteur facilement lorsque la locomotive est sous une fosse de visite ; le calage des balais est d'ailleurs invariable, on ne peut donc les régler ; on se borne à remplacer les blocs de charbon lorsqu'ils sont usés.

Le mode de fixation et d'entraînement des moteurs est assez difficile à saisir quand on examine la locomotive, et par suite assez difficile à expliquer : trois figures ne seront pas de trop pour bien voir la position respective de toutes les pièces. La figure 11 représente la coupe transversale d'un essieu et de son moteur, la figure 12 une vue de bout de l'essieu du côté de la roue motrice R_1 et la figure 13 une vue perspective, mais tout à fait schématique, de l'essieu. Le bâti inducteur du moteur constitue, nous l'avons vu, une sorte de boîte fermée, percée d'une ouverture cylindrique O formée par la réunion des deux demi-collerettes P_1 et P'_1 d'une part, P_2 P'_2 d'autre part (fig. 11, 12

et 13) et que nous supposerons d'abord revêtue intérieurement d'un manchon soudé T T′ (fig. 11, 12 et 13). Au travers de la cavité cylindrique formée par la surface intérieure du manchon TT′, (qui mesure 268 mm de diamètre) passe *librement* et avec un très grand jeu (il n'a que 177 mm de diamètre extérieur) l'essieu proprement dit E, *qui est tout à fait indépendant du moteur*. Les deux cuvettes J_1 J_2 de la boîte portent à chaque angle, à leur point de jonction, des pattes b_1 b_2 (représentées schématiquement sur la vue en perspective de la figure 13 et en position exacte sur la figure 12) qui sont boulonnées sur des entretoises verticales K_1 K_2 (fig. 12 et 13) du châssis du bogie. Ce châssis s'appuie, on le sait, sur des ressorts de suspension, fixés sur des boîtes à huile M_1 M_2 solidaires de l'essieu, et qui peuvent subir des déplacements verticaux d'une dizaine de centimètres. Toutes les pièces du bâti du moteur, y compris le manchon T T′, qui est solidaire du châssis, peuvent par conséquent se déplacer de même verticalement d'une dizaine de centimètres. Néanmoins le manchon TT′ ne peut jamais venir toucher l'essieu E parce que l'espace annulaire de 95 mm ménagé entre ces deux pièces (fig. 11, 12 et 13) est plus grand que la flexion maxima des ressorts de suspension. Nous avons supposé que le manchon TT′ était soudé après les collerettes $P_1P'_1$ $P_2P'_2$ du bâti inducteur du moteur (fig. 11 et 13); en réalité cet arbre creux TT′ est celui qui supporte le tambour induit I du moteur et il peut tourner en frottant sur les deux coussinets en forme de bague C_1C_2 (fig. 11) montés aux deux extrémités du bâti inducteur. (Ces deux coussinets ne sont pas représentés sur la figure en perspective 13, on peut facilement se les imaginer). Mais ce que nous avons dit n'en subsiste pas moins : quoique animé d'un mouvement de rotation le manchon TT′ suit tous les mouvements verticaux ou même horizontaux du châssis puisqu'il reste solidaire du bâti inducteur J_1J_2 par les coussinets C_1C_2 montés sans jeu appréciable.

Il en résulte que tout l'ensemble du moteur, inducteur et induit, est uniquement solidaire du châssis en tant que suspension, puisqu'il suit toutes les oscillations de la caisse du véhicule d'une façon tout à fait in-

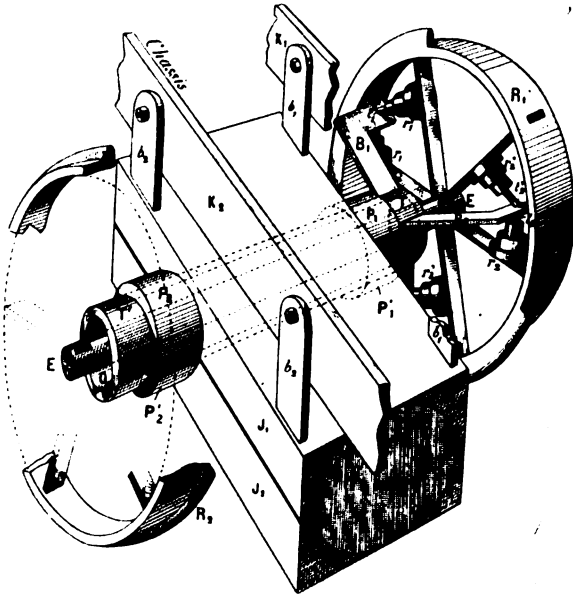


Fig. 13. — Vue perspective schématique d'un essieu moteur.

dépendante de l'essieu. Voilà ce qui concerne le mode de fixation du moteur; nous allons voir maintenant comment et de quelle manière le moteur, ou plutôt le tambour induit I du moteur (car il ne faut pas oublier que tout moteur électrique à courant continu se compose de deux parties distinctes, l'induit mobile et l'inducteur fixe, reliés toujours par un coussinet frottant également fixe) produit l'entraînement de l'essieu. Si le manchon TT′ ne portait pas d'autres organes que ceux décrits jusqu'à présent, l'induit du moteur tournerait à vide, tandis qu'il doit faire mouvoir les roues de l'essieu. Or, les roues restant à une hauteur absolument fixe par rapport à la voie, tandis que le manchon ou arbre induit possède un certain jeu vertical, on ne peut relier ces deux organes par un accouplement fixe; voici comment s'effectue la liaison. Le manchon ou arbre TT′ porte à une de ses extrémités trois projections radiales $B_1B_2B_3$, disposées à 120° l'une de

l'autre (voir la figure 11 à droite, la figure 12 et surtout la vue perspective de la figure 13). Ces projections viennent buter chacune presque normalement contre deux tiges *tt'* montées sur deux forts ressorts spirale *rr'* fixés sur deux rais de la roue R_1.

En résumé, lorsque le moteur est en marche l'inducteur et ses 2 coussinets restent fixés au châssis ; l'induit, avec son arbre creux TT', tourne autour des coussinets et provoque la rotation d'une des roues R_1 de l'essieu par ses bras $B_1B_2B_3$ qui appuient à droite sur les ressorts $r'_1r'_2r'_3$ ou à gauche sur les ressorts $r_1r_2r_3$ suivant le sens de rotation du moteur.

Au point de vue de la construction ce qui différencie ces réceptrices électriques des moteurs ordinaires fixes, c'est la disposition tout à fait différente des paliers qui soutiennent les coussinets annulaires C_1C_2. Les chapeaux des paliers, au lieu de former des pièces indépendantes du bâti, sont constitués par les demi-collerettes P_1P_2 (fig. 10, 11 et 13) fixées verticalement à demeure contre la cuvette supérieure J_1 du bâti de l'inducteur. La partie inférieure des paliers au lieu d'être supportée par un haut pilier est simplement formée par une demi-collerette P'_1 ou P'_2 venue de fonte avec la cuvette inférieure J_2 de l'inducteur. Les coussinets marqués C_1C_2 sur la figure 11 comprennent, en réalité, deux parties : la pièce annulaire en métal anti-friction a_4 (fig. 9), qui frotte contre l'axe creux tournant TT' est encastrée dans une fourrure annulaire de pression en bronze a_5 retenue après la collerette du palier par 2 vis que l'on peut serrer plus ou moins. Le graissage se fait à peu près de la même manière que dans les boîtes à huile ordinaires des véhicules de chemins de fer, par deux tampons graisseurs en coton (marqués en hachures pointillées sur la figure 9), logés dans deux rainures du coussinet et appliqués contre la partie inférieure de l'arbre T (la figure 9 doit être renversée). Les mèches composant ces deux tampons plongent dans une cuvette d'huile a_8 (fig. 9 et 11) venue de fonte avec la demi-collerette P_1 ou P_2 du palier. On remplit cette cuvette a_8 par les godets à couvercle a_{10} et b_{10}. Un graissage auxiliaire est encore fourni par une mèche en coton formant siphon, qui plonge dans la petite cuvette supérieure a_7 (fig. 9), remplie d'huile et qui aboutit à l'arbre en passant par le tube a_6.

Le dispositif d'entraînement de l'essieu adopté sur les nouvelles locomotives Heilmann permet à l'arbre de l'induit du moteur de suivre tous les mouvements du châssis tout en entraînant toujours la roue ; les déplacements verticaux de l'arbre de l'induit, qui ne se font jamais sentir que d'une façon très progressive, se traduisent presque uniquement par un glissement radial de quelques centimètres des faces latérales des projections B (fig. 12 et 13) contre le bout des tiges à ressort *t*; ces dernières ne se déplacent pour ainsi dire pas pendant tout le cours de la marche; toutes celles qui sont dans le sens de la rotation restent constamment écrasées, tandis que celles placées de l'autre côté de la projection sont détendues. Ces ressorts ont pour fonction spéciale d'amortir les chocs provoqués par le démarrage des moteurs, chocs qui sont forcément assez violents quand on développe presque instantanément un demi-millier de chevaux. Pour ne pas compliquer outre mesure le montage, l'entraînement des essieux par les moteurs électriques n'a lieu qu'à l'aide d' une seule roue R_1, par essieu et du même côté pour tous les essieux d'un bogie, mais de l'autre côté quand on passe au second bogie. La torsion de l'essieu résultant de cette dissymétrie des deux roues est insignifiante.

Cette disposition des moteurs paraît très bonne et donnera probablement d'excellents résultats. Sur la première *Fusée*, on se le rappelle, les induits des moteurs étaient calés directement sur les essieux ; les inducteurs reposaient sur des coussinets annulaires montés sur l'essieu même ; ils n'avaient aucune liaison avec le châssis et étaient tout bonnement réunis entre eux deux à deux. Cette disposition, quoique très simple, a été

abandonnée parce qu'il se produisait, faute de liaison élastique entre les moteurs et les essieux, des effets de force vive très violents qui fatiguaient et détérioraient assez rapidement les coussinets annulaires des moteurs.

Les huit moteurs de la locomotive fonctionnent presque toujours en quantité. On peut néanmoins, dans le cas de démarrages très durs à faible vitesse, les coupler par séries de deux.

Pour faire varier la vitesse sur un même profil ou pour maintenir la même vitesse sur des profils différents, c'est-à-dire pour faire varier la puissance fournie aux réceptrices, il est nécessaire de faire varier l'intensité du courant envoyé par les génératrices dans les moteurs électriques, c'est-à-dire la puissance fournie par la génératrice. On ne produit ces changements d'intensité du courant principal ni par l'introduction de résistances entre les génératrices et les moteurs, ni en général par le mode de groupement des moteurs, comme on le fait d'habitude, mais par un procédé tout à fait particulier qui consiste à faire varier en même temps et en sens inverse le champ magnétique inducteur et la vitesse des génératrices.

Cette double variation est obtenue très simplement, en agissant sur l'excitation des génératrices, grâce à l'indépendance complète de ce courant d'excitation et à l'autorégulation de la machine à vapeur. Ce procédé avait déjà été employé sur la première locomotive Heilmann, et nous avons expliqué à ce moment qu'en laissant constante l'admission de la vapeur dans le moteur conduisant les génératrices, dont l'excitation est séparée, si l'on diminue le courant d'excitation l'on diminue aussitôt le couple résistant opposé par la génératrice au moteur à vapeur, et par suite celui-ci accélère de lui-même sa marche et fournit une puissance plus grande, puisqu'il produit à chaque tour une somme de travail constante et que le nombre de tours a augmenté. Cet accroissement de la vitesse et de la puissance de la machine à vapeur se traduit par une augmentation de la vitesse et aussi de la puissance de la génératrice, car malgré la diminution du champ inducteur la force électromotrice et par suite l'intensité de courant fournies par la génératrice augmentent. Inversement, pour diminuer la puissance fournie par les génératrices et le moteur à vapeur, il suffit d'augmenter le courant d'excitation des génératrices, ce qui produit une diminution de la vitesse du moteur à vapeur et des dynamos qu'il actionne. On peut donc obtenir le réglage automatique des génératrices et de leur moteur par le seul fait de la variation de résistances intercalées entre les bornes du circuit principal de la dynamo excitatrice et les circuits inducteurs des génératrices, puisque l'excitation de celles-ci est fournie par une dynamo indépendante.

En même temps, et c'est là le grand avantage revendiqué par M. Heilmann pour sa locomotive, on peut, par ce mode de réglage, faire travailler continuellement la machine à vapeur à admission constante, et obtenir, en choisissant une admission convenable, un rendement maximum du moteur pendant *toute la durée* de la marche, tandis que dans les locomotives ordinaires la solidarité forcée de la machine à vapeur avec les roues fait travailler souvent ce moteur dans des conditions fort éloignées du rendement maximum.

En dehors du rhéostat d'excitation des génératrices, le mécanicien n'a d'autre appareil électrique à manœuvrer que le commutateur de changement de marche, qui change le sens du courant dans tous les induits des réceptrices à la fois, et au besoin le commutateur de couplage mettant les réceptrices par séries de deux.

Les commutateurs de changement de marche et de couplage, dont on fait usage très rarement, font partie d'un tableau de distribution m_5 (fig. 3), fixé contre l'une des parois latérales de l'abri, dans un des couloirs m_1 longeant les machines du groupe générateur. La figure 14 représente ce tableau de distribution, mais d'une manière tout à fait sché-

matique : il ne faut pas faire attention, en particulier, aux positions données aux aiguilles des divers appareils de mesure. Du côté droit de ce tableau de distribution, qui occupe 3,20 m de largeur et toute la hauteur de la salle, sont les appareils concernant l'excitation : en A un voltmètre de 140 volts donnant la tension de la dynamo excitatrice, et en B un ampèremètre de 140 ampères indiquant le courant total débité par cette dynamo ; en C et D, deux ampèremètres de 70 ampères donnant le courant d'excitation absorbé dans le circuit inducteur de chaque génératrice ; en E, un rhéostat à volant, agissant sur le circuit shunt d'excitation de la dynamo excitatrice, et dont on ne fait usage que très rarement ; en F, un interrupteur intercalé dans le petit circuit d'éclairage par lampes à incandescence de la locomotive. On rencontre à gauche de la fenêtre : un voltmètre G de 600 volts indiquant la tension du circuit principal aux bornes des deux barres de distribu-

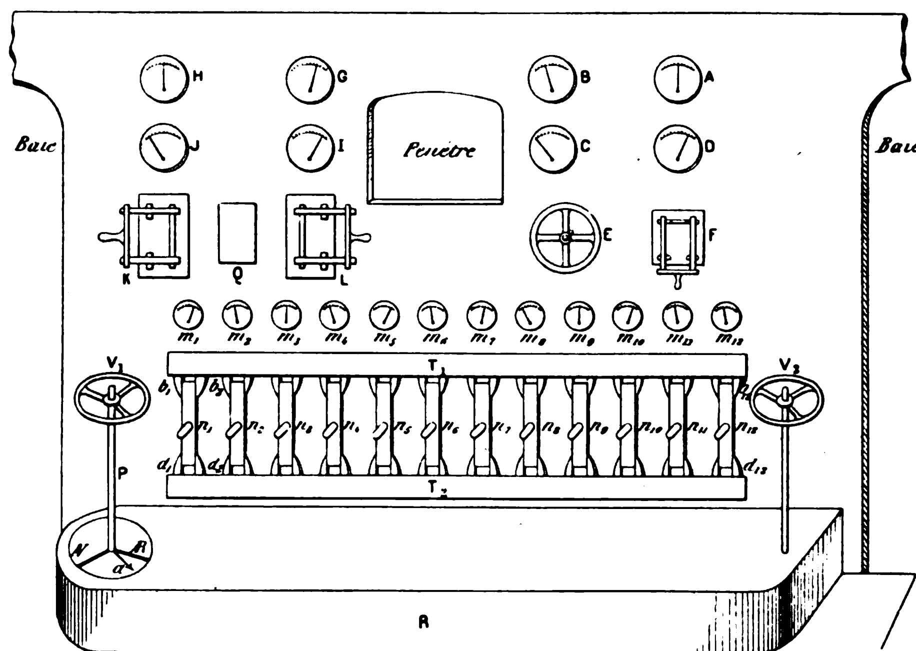


Fig. 14. — Tableau de distribution de la locomotive Heilmann.

tion, positive et négative, sur lesquelles sont montées en quantité les deux génératrices ; un ampèremètre H, de 4 000 ampères muni d'un shunt Q, pour mesurer l'intensité totale fournie par les génératrices ; et deux ampèremètres J et I de 2 000 ampères donnant l'intensité débitée par chaque génératrice. Les bornes induites des génératrices sont reliées directement, après avoir traversé les gros interrupteurs bipolaires K et L construits pour 2 000 ampères, à deux barres de distribution, l'une positive l'autre négative, sans l'interposition d'aucun rhéostat. Une de ces barres de cuivre est cachée derrière le tableau, l'autre T_1, fixée horizontalement un peu au-dessous de la fenêtre, est visible sur la fig. 14, A 30 cm au-dessous de la barre T_1 se trouve une barre semblable T_2 qui sert de point de départ à l'un des pôles des douze circuits des réceptrices électriques. Les deux barres T_1 et T_2 portent toutes deux douze mâchoires de contact $b_1 b_2 \ldots b_{12}$, $d_1 d_2 \ldots d_{12}$ en cuivre feuilleté, entre lesquelles sont engagés douze leviers en cuivre $n_1 n_2 \ldots n_{12}$ formant interrupteurs, qui ne sont pas articulés, mais que l'on peut enlever complètement en les saisissant par une poignée fixée en leur milieu. Enfin, au-dessous des panneaux du tableau se trouve

une sorte de caisson R en bois renfermant les douze appareils effectuant le changement de marche, et les douze autres appareils effectuant le couplage des moteurs. Ces douze appareil de commutation ou de couplage sont montés chacun sur un même arbre unique et chaque groupe est manœuvré par un volant unique. Les volants des deux commutateurs sont placés aux deux bouts du caisson ; le volant de gauche V_1, qui porte une aiguille indicatrice a, sert au changement de marche, et le volant de droite V_2 au couplage des moteurs.

Il est à remarquer que les appareils de mesure montés sur le tableau de distribution n'existent que parce qu'il s'agit de deux locomotives nouvelles avec lesquelles on fera beaucoup d'essais. Sur des machines auxquelles on se bornerait à demander un travail utile, ces appareils seraient supprimés, car le mécanicien n'en a nullement besoin pour conduire sa locomotive. Il ne se sert même pas souvent des autres appareils contenus dans le tableau ; ceux dont il fait usage couramment en marche sont très peu nombreux et rassemblés sur une planchette verticale, sous forme de poste de manœuvre.

Deux postes de manœuvre identiques (visibles en plan en $m_3 m_4$ sur la figure 3) sont disposés en diagonale dans deux angles de la salle des machines K, un à gauche du tableau de distribution m_5, près de l'avant-bec, qu'on emploie lorsqu'on marche en avant, c'est-à-dire cheminée arrière, et un autre voisin de l'abri d'arrière I et de la chaudière, lorsqu'on marche cheminée avant. Chacun de ces postes comprend simplement : un sifflet, un manomètre de 14 kg, indiquant la pression dans la chaudière, l'appareil de manœuvre du frein à air comprimé, dit « robinet du mécanicien », avec un manomètre, un ampèremètre de 4 000 ampères indiquant la production totale de courant des deux génératrices, et un commutateur électrique commandant l'excitation des génératrices. Ce commutateur se compose de deux leviers se déplaçant sur deux cadrans à touches, de 25 cm de diamètre, correspondant aux deux génératrices. Ces deux leviers sont manœuvrés par un même volant, de façon à avoir toujours un champ inducteur identique dans les deux génératrices couplées en quantité. Mais il n'y a pour les deux postes qu'un seul volant; on est donc bien sûr que le commutateur d'excitation ne sera jamais tourné des deux postes à la fois, ce qui évite toute fausse manœuvre. Outre les appareils du poste de manœuvre, le mécanicien a toujours à sa disposition derrière lui, comme nous l'avons vu précédemment, une tringle lui permettant de fermer, en cas de besoin, à l'aide d'un volant spécial, la valve de sûreté du moteur à vapeur.

Comme récapitulation, le tableau ci-dessous, qui donne le poids des différents organes de l'ancienne et de la nouvelle locomotive Heilmann, fait ressortir l'allègement considérable obtenu dans la nouvelle machine.

	Ancienne locomotive.	Nouvelle locomotive.
Carcasse comprenant châssis et bogies	29,3 t	34, t
Chaudière pleine d'eau . .	26	23,7
Machine à vapeur et excitatrice.	6	9,3
Appareils électriques (dynamos génératrices et réceptrices)	33	40
Divers.	3	3
Total sans eau ni combustible	97 t	110 t
Eau et charbon.	20	14
Poids total de la locomotive, les soutes pleines. .	117 t	124 t

Comme nous l'avons dit au début, l'ancienne machine Heilmann ne pouvait fournir que 700 chevaux à la chaudière, tandis que les deux nouvelles sont construites pour donner environ 1 350 chevaux. Nous serons d'ailleurs fixés d'ici peu sur les puissances, les vitesses et les efforts de traction que peuvent développer réellement ces locomotives, car les expériences vont commencer tout prochainement avec la première machine, d'abord entre Paris et Mantes, et ensuite sur de plus longs trajets.

CH. JACQUIN.

***

ROLE DES MASSES ET DES MASSES VECTORIELLES

DANS LA THÉORIE DES ACTIONS A DISTANCE

1. Identité mathématique. — *Lemme.* Soit U un volume limité par une surface S (fig. 1).

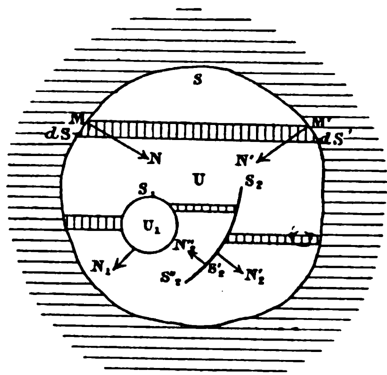


Fig. 1.

La normale MN en un point M de S sera dirigée vers l'intérieur de U.

Divisons U en parallélipipèdes rectangles de section droite $dy\,dz$ et de longueur MM'. Calculons l'intégrale :

$$\int_M^{M'} \frac{\partial \alpha}{\partial x}\, dx dy dz = (\alpha' - \alpha)\, dy dz.$$

Le parallélipipède découpe sur S deux éléments dS et dS' ; les cosinus directeurs des normales MN, M'N', sont l, m, n, l', m', n'. On a :

$$dy dz = l dS = -l' dS'$$
$$(\alpha' - \alpha)\, dy dz = -l\alpha dS - l'\alpha' dS'.$$

Donc :

$$\int_M^{M'} \frac{\partial \alpha}{\partial x}\, dx dy dz = -(l\alpha dS + l'\alpha' dS').$$

Faisons la somme des équations semblables pour tous les parallélipipèdes qui remplissent U :

$$\int_U \frac{\partial \alpha}{\partial x}\, du + \int_S l\alpha dS = 0$$

du étant un volume infiniment petit. En ajoutant cette équation et deux autres analogues, on aura :

$$\int_U \left(\frac{\partial \alpha}{\partial x} + \frac{\partial \beta}{\partial y} + \frac{\partial \gamma}{\partial z} \right) du + \int_S (l\alpha + m\beta + n\gamma)\, dS = 0. \qquad (1)$$

Cette formule s'étend au cas où l'on aurait un trou U_1 limité par S_1 et ne faisant pas partie de U ; S_1 est une surface intérieure limitant U ; nous appellerons S l'ensemble de la surface extérieure et de la surface S_1. La formule s'étend aussi au cas où α, β, γ, fonctions de x, y, z, continues dans tout le volume U, deviennent discontinues sur la surface S_2. Nous prêterons à S_2 deux faces S'_2 et S''_2 ; N'_2 et N''_2 indiquent le sens des normales dirigées vers l'intérieur de U. Ces propositions sont exactes, parce qu'on peut encore diviser tout le volume U en parallélipipèdes rectangles, comme le montre la figure 1.

Appliquons la formule (1) au cas d'un volume U limité par la surface S et par la surface intérieure Σ d'une sphère de rayon R et de centre $M(a, b, c)$ (fig. 2) ; r est la distance

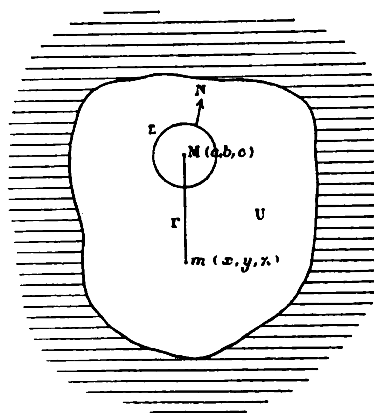


Fig. 2.

de M à un point m (x, y, z) du volume U :

$$r^2 = (x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2. \qquad (2)$$

Posons à cet effet :

$$\left\{\begin{aligned} \alpha &= X \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} - Y \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial y} - Z \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial z} \\ \beta &= Y \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} + X \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial y} - O \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial z} \\ \gamma &= Z \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} + O \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial y} + X \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial z} \end{aligned}\right.$$

Calculons $K = \frac{\partial \alpha}{\partial x} + \frac{\partial \beta}{\partial y} + \frac{\partial \gamma}{\partial z}$, en commençant par les dérivées du second facteur de chacun des termes :

$$K' = X \left(\frac{\partial^2 \frac{1}{r}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \frac{1}{r}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \frac{1}{r}}{\partial z^2} \right) + Y \frac{\partial^2 \frac{1}{r}}{\partial x \partial y} - Y \frac{\partial^2 \frac{1}{r}}{\partial x \partial y} + Z \frac{\partial^2 \frac{1}{r}}{\partial x \partial z} - Z \frac{\partial^2 \frac{1}{r}}{\partial x \partial z}.$$

La somme de ces quatre derniers termes est nulle. On a aussi :

$$\frac{\partial r}{\partial x} = \frac{x-a}{r} \qquad \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} = \frac{a-x}{r^3}$$

$$\frac{\partial \frac{1}{r^2}}{\partial x^2} = \frac{-1}{r^3} + \frac{3(a-x)}{r^4} \frac{a-x}{r}$$

$$\frac{\partial^2 \frac{1}{r}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \frac{1}{r}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \frac{1}{r}}{\partial x^2} = \frac{-3}{r^3} + \frac{3r^2}{r^5} = 0.$$

Donc $K' = 0$. Prenons maintenant les dérivées des premiers facteurs de chaque terme :

$$K = K'' = \left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z} \right) \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} + \left(\frac{\partial X}{\partial y} - \frac{\partial Y}{\partial x} \right) \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial y} + \left(\frac{\partial X}{\partial z} - \frac{\partial Z}{\partial x} \right) \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial z}.$$

D'autre part :

$$l\alpha + m\beta + n\gamma = (lX + mY + nZ) \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} + (mX - lY) \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial y} + (nX - lZ) \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial z}.$$

Pour simplifier ces formules, posons :

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z} = 4\pi\rho \\ &\frac{\partial Y}{\partial z} - \frac{\partial Z}{\partial y} = 4\pi\mu_x \quad \frac{\partial Z}{\partial x} - \frac{\partial X}{\partial z} = 4\pi\mu_y \quad \frac{\partial X}{\partial y} - \frac{\partial Y}{\partial x} = 4\pi\mu_z \\ &lX + mY + nZ = 4\pi\sigma \\ &nY - mZ = 4\pi\nu_x \quad lZ - nX = 4\pi\nu_y \\ &mX - lY = 4\pi\nu_z. \end{aligned}\right\}$$

La formule (1) s'écrira donc :

$$\left.\begin{aligned} &4\pi \int_U \left(\rho \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} + \mu_z \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial y} - \mu_y \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial z} \right) du \\ &+ 4\pi \int_S \left(\sigma \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} + \nu_z \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial y} - \nu_y \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial z} \right) dS \\ &+ \int_\Sigma \left[(lX + mY + nZ) \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} + (mX - lY) \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial y} + (nX - lZ) \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial z} \right] dS \end{aligned}\right\} = 0 \qquad (3)$$

Calculons $\int_\Sigma$. D'après la figure 2, on a :

$$l = \frac{x-a}{R} \quad m = \frac{y-b}{R} \quad n = \frac{z-c}{R}$$

$$\frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} = \frac{a-x}{R^3} \quad \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial y} = \frac{b-y}{R^3} \quad \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} = \frac{c-z}{R^3}.$$

Donc le facteur de dS est égal à :

$$+ [(x-a)X + (y-b)Y + (z-c)Z] \frac{a-x}{R^4} + [(y-b)X - (x-a)Y] \frac{b-y}{R^4} + [(z-c)X - (x-a)Z] \frac{c-Z}{R^4} = -\frac{X}{R^2}$$

$$\int_\Sigma = 4\pi \int_\Sigma \frac{X dS}{4\pi R^2} = -4\pi X_m$$

X_m étant la moyenne arithmétique de X sur la surface $\Sigma = 4\pi R^2$ de la sphère. Faisons passer $-4\pi X_m$ dans le second membre de la formule (3), et inversons les deux membres, en les divisant par 4π :

$$X_m = \int_U \left(\rho \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} + \mu_z \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial y} - \mu_y \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial z} \right) du + \int_S \left(\sigma \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} + \nu_z \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial y} - \nu_y \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial z} \right) dS.$$

Si l'on fait tendre R vers zéro, X_m deviendra la valeur de X au point M (a, b, c), et les

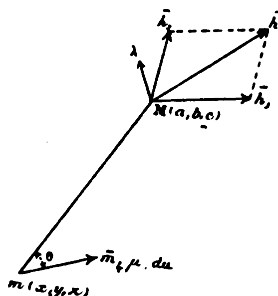


Fig. 3.

intégrales $\int_U$ et $\int_S$ auront des limites bien déterminées. Donc :

$$X = \int_U \left(\rho \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} + \mu_z \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial y} - \mu_y \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial z} \right) du + \int_S \left(\sigma \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} + \nu_z \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial y} - \nu_y \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial z} \right) dS \quad (4)$$

C'est là l'identité mathématique que nous voulions établir.

2. Interprétation de cette identité dans le langage de la théorie des actions a distance. — L'équation (4) peut s'écrire :

$$X = \int \left(\frac{\rho du}{r^2} \cdot \frac{a - x}{r} + \frac{\mu_z du}{r^2} \cdot \frac{b - y}{r} + \frac{\mu_y du}{r^2} \cdot \frac{c - z}{r} \right) + \int_S \left(\frac{\sigma dS}{r^2} \cdot \frac{a - x}{r} + \frac{\nu_z dS}{r^2} \cdot \frac{b - y}{r} - \frac{\nu_y dS}{r^2} \cdot \frac{c - z}{r} \right).$$

$$X = X (a, b, c)$$

Nous aurons deux autres équations semblables en Y et Z en permutant circulairement les lettres a, b, c et x, y, z.

Soit $\bar{h}$ le vecteur qui a pour composantes X, Y, Z. Soient $\bar{\mu}$ et $\bar{\nu}$ deux vecteurs ayant pour composantes μ_x, μ_y, μ_z et ν_x, ν_y, ν_z. Nous appellerons ρ densité d'une certaine masse au point x, y, z ; σ la densité superficielle de masse sur la surface intérieure S_1 limite de U et sur la surface de discontinuité S_2 à deux faces S'_2 et S''_2 ; $\bar{\mu}$ la densité d'une masse vectorielle au point x, y, z ; $\bar{\nu}$ la densité superficielle de masse vectorielle sur les surfaces S, S_1 et S_2. Le vecteur $\bar{\nu}$ est tangent à ces surfaces.

Soit m la masse $\rho\, du$ dans du. Considérons $\overline{\frac{m}{r^2}}$ comme un vecteur ayant la direction m M, et étant la réaction de A sur M, puisque les cosinus directeurs de m M sont $\frac{x-a}{r}$, $\frac{y-b}{r}$, $\frac{z-c}{r}$. On remplacera les composantes

$$\int_U \frac{\rho du}{r^2} \cdot \frac{z-a}{r} \quad \int_U \frac{\rho du}{r^2} \frac{y-b}{r}$$

$$\int_U \frac{\rho du}{r^2} \cdot \frac{z-c}{r}$$

par le vecteur résultant, que nous écrirons $\sum \overline{\frac{m}{r^2}}$. De même pour les masses superficielles on aura le vecteur $\sum \overline{\frac{m'}{r^2}}$. On posera simplement comme résultante de ces deux vecteurs le vecteur $h_1 = \sum \overline{\frac{m}{r^2}}$, qui est appliqué au point M.

On posera :

$$\frac{\mu_z du}{r^2} \cdot \frac{y-b}{r} - \frac{\mu_y du}{r^2} \cdot \frac{z-c}{r} = \frac{m_z du}{r^2} \cdot \frac{y-b}{r} - \frac{m_y du}{r^2} \frac{z-c}{r}$$

et deux autres expressions semblables. Les trois expressions sont les composantes d'un vecteur λ, qui est perpendiculaire à la direction m M et à la masse vectorielle $\overline{m_\nu} = \bar{\mu} du$. Ce vecteur λ est vu par un observateur, placé les pieds en m et la tête en m_ν et regardant le point M, comme dirigé de sa droite vers sa gauche (règle d'Ampère). On a en grandeur : $\lambda = \frac{m_\nu \sin \theta}{r^2}$. La résultante de tous les vecteurs λ peut s'écrire :

$$\bar{h_2} = \sum \overline{\frac{m_\nu \sin \theta}{r^2}}.$$

La résultante de $\bar{h}_1$ et de $\bar{h}_2$ est évidemment le vecteur $\bar{h}$:

$$\bar{h} = \sum \overline{\frac{m}{r^2}} + \sum \overline{\frac{m_\nu \sin\theta}{r^2}}. \qquad (5)$$

Dans la théorie des actions à distance, cette formule peut s'énoncer ainsi :

Dans le volume U du champ d'un vecteur $\bar{h}$ quelconque, dont les composantes X, Y, Z sont des fonctions continues de x, y, z, ainsi que leurs dérivées du premier ordre, le vecteur $\bar{h}$ en tout point est identique à la résultante des vecteurs $\bar{h}_1$ et $\bar{h}_2$ de deux champs créés dans le même volume U :

Le premier par des masses m, m', m''... réparties dans U, et dont l'ensemble jouit de la propriété de créer à distance en tout point de U un vecteur $\bar{h}_1 = \sum \overline{\frac{m}{r^2}}$; la distribution de ces masses est définie par les formules de ρ et de σ, qui ne dépendent que de la distribution de X, Y, Z aux divers points du champ ;

Le second par des masses vectorielles m_1... dont l'ensemble jouit de la propriété de créer en tout point de U un vecteur $\bar{h}_2 = \sum \overline{\frac{m_\nu \sin\theta}{r^2}}$; la distribution des masses $\bar{m}_\nu$ est définie par les formules des composantes de $\bar{\mu}$ et de $\bar{\nu}$.

La formule (5) s'applique à un vecteur quelconque :

$\bar{h}$ = vitesse des points d'un corps mobile ;

$\bar{h}$ = accélération $\bar{g}$ de la pesanteur ($\bar{g}$ = 981 C G S à Paris), indépendante du corps qui la subit ;

$\bar{h}$ = flux de chaleur dans un champ calorifique ;

$\bar{h}$ = intensité d'un champ électrique ou magnétique.

Le rôle purement mathématique des masses et des masses vectorielles n'augmente en rien nos connaissances en mécanique et en physique [1].

A. Vaschy,
Ingénieur des Télégraphes.

[1] Extrait du cours de M. Vaschy à l'Ecole des élèves-ingénieurs des Postes et des Télégraphes.

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

MATÉRIEL ROULANT

M. Franck J. Sprague poursuit actuellement sur les voies expérimentales de la General Electric Company, à Schenectady, la réalisation d'un système de son invention, destiné à l'exploitation des *trains* de chemins de fer électriques, et dénommé système à *unités multiples*, ou mieux à *unités indépendantes*. En principe, ce système consiste simplement à munir chaque voiture d'un équipement électrique complet : moteurs, contrôleur, trôlet ; les contrôleurs sont tous simultanément manœuvrés, pour régler la vitesse, au moyen d'un dispositif spécial commandé d'un point quelconque du train, ordinairement la plate-forme d'avant. En cours de route, ou dans les voies de triage, on peut séparer les wagons qui deviennent indépendants et peuvent prendre chacun la direction voulue. On espère ainsi simplifier la main-d'œuvre et diminuer les frais d'exploitation.

Les renseignements publiés sont encore très peu nombreux, tous les brevets n'étant pas encore pris. Il est donc difficile de porter un jugement sur ce système qui semble cependant, à première vue, présenter d'assez graves difficultés. En effet, tous les contrôleurs étant placés sur le même cran, tous les moteurs tendent à développer la même puissance, tandis que dans bien des cas chaque voiture exige pour sa propulsion une puissance différente ; il est en effet bien difficile d'admettre que le poids des voitures soit le même ; aux passages en courbes, certaines voitures seront encore

en alignement, tandis que d'autres, engagées dans la courbe, exigeront une puissance beaucoup plus considérable ; il en sera de même en abordant les rampes. En un mot, tous les inconvénients signalés par notre collaborateur M. Paul Hoho [1] se trouveront exagérés. Les moteurs travailleront donc dans des conditions très défavorables et il se produira des efforts anormaux très nuisibles au matériel. En outre, les dépenses de premier établissement seront plus élevées que par l'emploi d'une seule voiture motrice et de voitures de remorque. Les dépenses d'énergie par voiture-kilomètre seront aussi plus élevées.

Nous reviendrons sur ce système s'il y a lieu.

L'arc électrique qui se forme entre les frotteurs et les contacts des contrôleurs lors de la rupture des circuits est une source de détérioration grave de ces appareils et peut être une cause d'accidents. Pour éviter sa formation, on sait que M. Elihu Thompson a muni ses contrôleurs d'un dispositif permettant le soufflage électro-magnétique de l'arc. Un seul électro-aimant est employé pour tous les contacts.

M. E.-C. Parham préfère employer un électro-aimant pour chaque contact parce que de cette façon, l'intensité du courant qui anime l'électro-aimant est proportionnelle à la force de l'arc à soufffer et, en même temps, la dépense d'énergie électrique pour l'aimantation est limitée au strict nécessaire. Pour éviter la complication que cette disposition pouvait entraîner, il adopte la construction suivante :

Chacun des contacts D, frottant sur les disques conducteurs E du contrôleur, est porté par une fourche en fer C (fig. 1 et 2), dont la traverse est fixée sur un ressort spirale B, monté sur une plaque isolante A et réuni au circuit des moteurs par la borne *e* à vis de serrage *f*. Le courant traversant le ressort B aimante la fourche C ; les pôles sont en c_1 et c_2, près du contact et assurent un soufflage énergique. Des disques isolants G empêchent

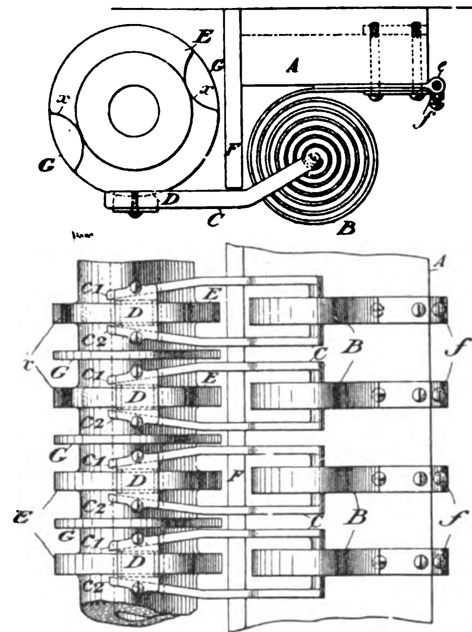


Fig. 1 et 2. — Souffleur électro-magnétique pour contrôleur, système E. C. Parham (1896).

les contacts fortuits. Les disques conducteurs E sont munis d'entailles *x* pour rompre le circuit au moment voulu, et un arrêt F empêche les bras D de venir en contact avec le fond de ces encoches.

Les règlements de police, dans la plupart des villes, interdisent aux voitures de tramways des vitesses supérieures à 12 ou 16 km : *h* ; cependant des vitesses de plus de 50 km : *h* ont été observées avec des tramways électriques. Plusieurs appareils ont été inventés pour éviter ces vitesses dangereuses.

Le régulateur de vitesse H.-F. Parshall se compose (fig. 3) d'une génératrice magnéto ou dynamo-électrique D montée sur le même essieu A que le moteur M et dans le circuit de laquelle est intercalé un solénoïde C, dont le noyau P s'abaisse lorsque, la vitesse étant trop grande, l'intensité du courant prend une valeur exagérée ; il dégage alors le verrou T

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 402.

du coupe-circuit B, muni d'extincteurs électro-magnétiques M.

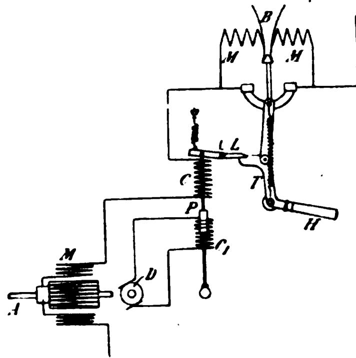


Fig. 3. — Régulateur de vitesse pour tramways, système H.-F. Parshall (1896).

La dynamo D et son solénoïde peuvent être remplacés par un régulateur à force centrifuge actionnant le bras L du verrou T, directement par leviers ou indirectement, en fermant le circuit d'une petite batterie portée par la voiture sur un solénoïde, comme dans le premier cas.

Le frein électromagnétique de l'Union Elektricitats-Gesellschaft, est disposé de façon à pouvoir être monté et démonté rapidement.

La partie fixe (fig. 4, 5, 6) se compose de deux couronnes en fer 1 et 2, disposées concentriquement et dans le même plan. Le périmètre extérieur de la première est circulaire; son périmètre intérieur est polygonal; le contour extérieur de la seconde 2 est également polygonal; son contour intérieur est disposé pour s'adapter aux pièces servant à maintenir le frein en place. Toutes deux sont formées en deux parties assemblées à charnières, comme dans les moteurs cuirassés, pour faciliter le démontage. A l'arrière, ces deux couronnes sont réunies par des culasses ou ponts en fer 4, ayant à peu près la forme de demi-cylindres creux, solidaires de la couronne intérieure et fixés sur la couronne

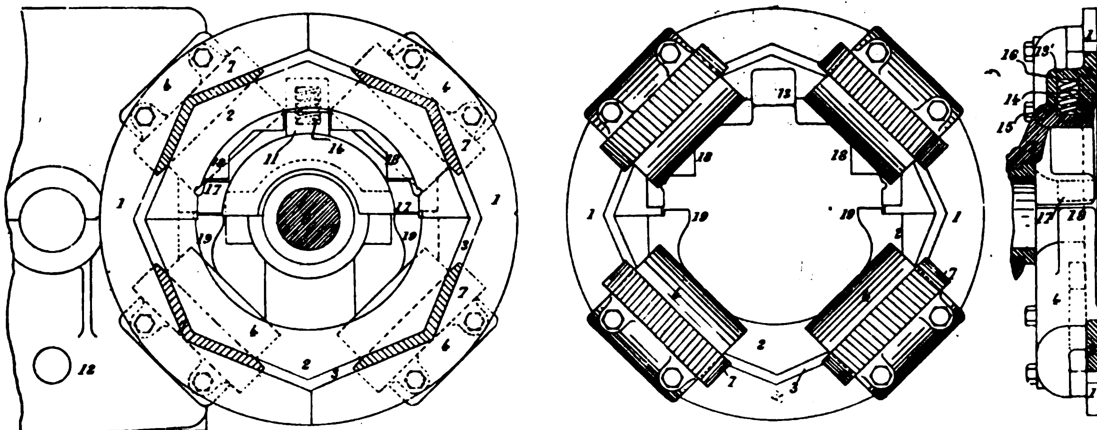


Fig. 4, 5 et 6. — Frein électro-magnétique de l'Union Elektricitats Gesellschaft (1896). Vue en plan; vue en arrière; coupe.

extérieure par des vis. C'est sur ces culasses qu'on place les bobines inductrices 7. Lorsque le courant passe dans celles-ci, chacune des couronnes 1 et 2 forme un épanouissement polaire; il se produit donc une attraction très puissante entre ces couronnes et le disque en fer fixé sur l'essieu et qui est placé en face du frein, sur la face opposée à celle qui porte les culasses. Ce disque peut être remplacé par les roues motrices elles-mêmes.

La partie fixe du frein est supportée en 13', autour de l'essieu 9, sur une pièce 13, fixée solidement en 11 sur l'enveloppe du moteur 12; des cavités sont pratiquées en 13' et en 15, et à l'intérieur de celles-ci est logé un fort ressort à boudin 14 légèrement incliné, qui rappelle le frein dans sa position normale, après qu'il a été attiré près du disque mobile. L'enveloppe du moteur porte également des saillies 17, qui viennent s'engager

entre les épaulements 18 et 19 du frein, pour empêcher celui-ci de tourner.

On a proposé l'application du principe de l'usine roulante aux navires, puis aux automobiles; à présent, on l'applique aux tramways. Bien que bizarre à première vue, cette application a donné de bons résultats.

Le système de M. Patton (fig. 7) comprend un moteur à essence de pétrole placé sur la

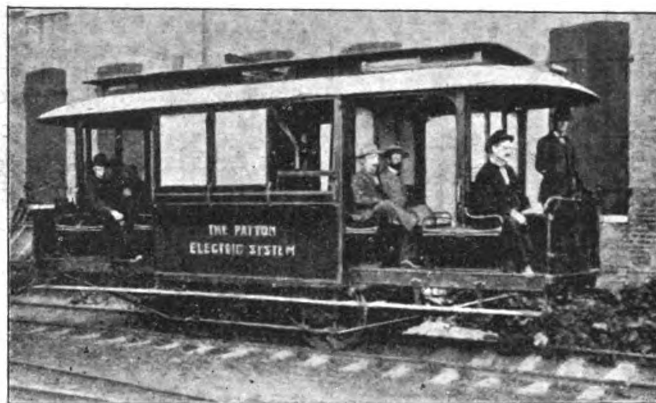


Fig. 7. — Voiture du tramway électrique auto-générateur de M. Patton.

voiture et actionnant une dynamo génératrice sur le circuit de laquelle sont branchés le ou les moteurs et une batterie d'accumulateurs en dérivation. Celle-ci joue un rôle capital, car elle assure l'élasticité nécessaire à l'exploitation, lors des démarrages, de la montée des rampes, ainsi que pour la traction de faibles poids à grande vitesse ou de lourdes charges à vitesse réduite. L'ensemble du système forme en quelque sorte une voiture

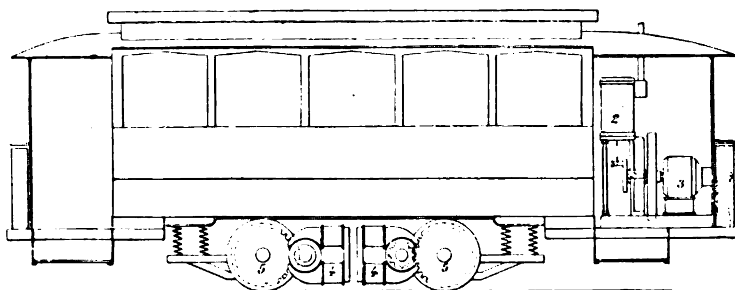


Fig. 8. — Voiture automobile, système Nash (1897).

à accumulateurs, dont la charge est constamment maintenue par la petite usine mobile. Chaque voiture étant absolument indépendante, tous les frais d'installation d'usine, de canalisations, poteaux, etc., ainsi que les dépenses afférentes à leur exploitation et à leur entretien, sont supprimés. Le système s'applique donc particulièrement bien aux lignes à grande longueur ou à très faible trafic.

En raison des doutes qui pourraient subsister quant à l'efficacité d'un tel système, nous citerons, d'après l'ingénieur en chef de la Compagnie de tramways, l'application qui en a été faite, pendant plusieurs mois, au cours de cette année, pour la construction des lignes de la Suburban Electric Railway Company, de Chicago. La voiture automobile a remorqué de 1 à 5 voitures chargées de matériaux de construction d'un poids sou-

vent assez élevé. « Le service était très rude et je ne pensais pas que la voiture pourrait effectuer même la moitié du service que nous en avons obtenu. Je dois ajouter que je suis très étonné à la fois du fonctionnement et de l'économie de l'exploitation. Dans le service décrit plus haut, nous avons dépensé de 55 à 60 litres (15 gallons) de gazoline par journée de 10 heures. » La voiture est restée souvent en service ininterrompu pendant vingt-quatre et même trente-six heures.

Le système L.-H. Nash est analogue à celui de M. Patton, mais la batterie d'accumulateurs est supprimée. La figure 8 représente l'aspect de la voiture portant son moteur à pétrole 2, qui actionne la génératrice 3, dont le courant anime les moteurs 4 qui entraînent les roues 5 de la voiture. Le moteur à pétrole est calculé pour assurer la marche de la voiture à pleine vitesse en palier; il serait incapable de fournir les efforts considérables des démarrages ou de la montée des rampes, étant donné que l'équipement ne comprend pas d'accumulateurs. Pour obvier à cet inconvénient, l'inventeur croit pouvoir se fier au dispositif suivant : la génératrice 3 est à enroulement compound. L'enroulement en dérivation 10 (fig. 9) est calculé pour aimanter à saturation les inducteurs; l'enroulement en série 13 agit en sens contraire. Lors donc que le moteur 9 tendra à tourner plus lentement, l'intensité du courant en 13 augmentera, l'induction diminuera et par conséquent aussi la force électromotrice aux bornes, la vitesse angulaire de la dynamo restant constante. La vitesse angulaire du moteur diminuera donc aussi, et avec elle la force électromotrice; on obtiendra ainsi automatiquement

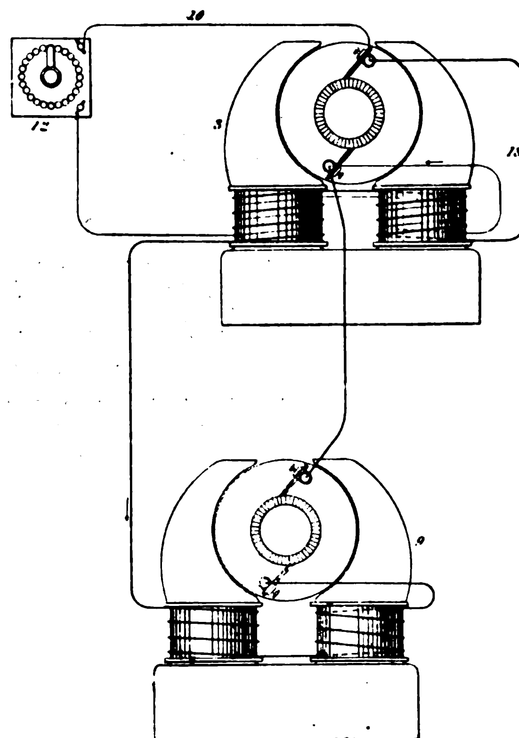


Fig. 9. — Schéma des communications de la voiture Nash.

la diminution de vitesse et l'augmentation d'intensité du courant nécessaire pour assurer la marche avec la puissance disponible. Le rhéostat 12 du circuit inducteur en dérivation permet de régler la vitesse qui peut être aussi réglée par le moteur à pétrole.

G. Pellissier.

ENDOSMOSE ÉLECTRIQUE (¹)

II. — Différences de potentiel corrélatives du passage des liquides a travers les diaphragmes.

L'étude inverse de la précédente peut être faite de la manière suivante :

1° Le passage d'un liquide à travers un diaphragme déterminé par une différence de pression des deux côtés établit-il une différence de potentiel entre les couches liquides situées de part et d'autre du diaphragme?

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique* des 9, 16, 23 et 30 octobre, p. 49, 106, 148 et 208.

2° Si cette différence existe, est-elle constante pour une même pression, un même liquide, un même diaphragme?

3° Comment la différence de potentiel varie-t-elle avec la pression, le liquide, le diaphragme?

Les tentatives pour répondre à ces questions sont dues à M. Quincke (*Ann. Pogg.* t. CVII, 1859, et t. CX, 1860).

1. Existence des courants

1° Principe de la méthode expérimentale. — Un diaphragme est monté perpendiculairement à la base d'un tube à travers lequel le liquide est refoulé par un excès de pression (fig. 17). Deux électrodes de platine A B, fixées

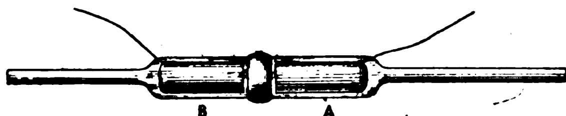


Fig. 17.

de part et d'autre du diaphragme, établissent la communication du liquide avec les bornes d'un galvanomètre;

2° Données du problème. — Les données du problème sont : le liquide, le diaphragme, la pression.

La pression qui produit l'écoulement, évaluée en millimètres de mercure, le débit à travers le diaphragme mesuré par le nombre de grammes de liquide qui a traversé le diaphragme par minute, caractérisent le régime.

3° Inconnues. — Les inconnues qui sont en même temps les caractéristiques du phénomène électrique sont :

La différence de potentiel aux électrodes;

L'intensité du courant.

La discussion générale de leur détermination á été faite dans un article précédent (*L'Éclairage Électrique*, 1896, p. 492 et suiv.), je me bornerai à faire remarquer dans le cas actuel : 1° que la différence des divers éléments Daniell ne permet pas de faire de cet élément un étalon de force électromotrice; 2° que les intensités ont été mesurées avec un galvanomètre ou une boussole des tangentes dont la sensibilité n'avait pas été déterminée. L'approximation des résultats est par suite indéterminée.

Les expériences de M. Quincke donnent donc un résultat qualitatif avec indications de la marche générale des phénomènes.

4° Résultats de l'expérience. — M. Quincke en faisant écouler de l'eau à travers un diaphragme de terre monté comme il a été dit plus haut, constate la déviation de l'aiguille du galvanomètre; un courant électrique, dont la direction est la même que la direction du courant d'eau, commence et finit en même temps que le passage de l'eau à travers le diaphragme, et persiste lorsqu'on affaiblit ou lorsqu'on compense les effets de la polarisation des électrodes. L'expérience répétée avec des diaphragmes de différente nature a donné des résultats analogues. L'intensité est très faible.

2. Force électromotrice

Une seconde partie du problème est la suivante :

Les courants ainsi déterminés correspondent-ils à une différence de potentiel constante de part et d'autre du diaphragme?

1° *Mesure de la force électromotrice.* — M. Quincke, pour répondre à cette question, compare les forces électromotrices obtenues avec deux appareils à diaphragmes différents, successivement par la méthode de Fechner et par la méthode d'opposition de Poggendorf.

A. Application de la méthode de Fechner. — Deux appareils à diaphragmes dont nous désignerons les forces électromotrices par E_1 E_2 sont placés dans le circuit d'un galvanomètre de très grande résistance : 1° en tension; 2° en opposition : soit I_s et I_d les intensités des courants correspondant respectivement aux forces électromotrices $E_1 + E_2$, $E_1 - E_2$ des deux cas.

Si la résistance du reste du circuit est négligeable devant la résistance du galvano-

mètre, cas réalisé dans l'expérience de M. Quincke, on a :

$$\frac{E_1 + E_2}{E_1 - E_2} = \frac{I_s}{I_d}$$

d'où

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_s + I_d}{I_s - I_d}.$$

Trois séries d'expériences ont été faites par M. Quincke (*loc. cit.*, t. CVII, p. 25) :

1° Avec deux diaphragmes de terre poreuse de même rayon ayant pour épaisseur

$$d_1 = 1{,}967\,\text{mm} \quad d_2 = 1{,}025\,\text{mm}$$

2° Avec deux diaphragmes de même rayon, d'épaisseur

$$d_1 = 1{,}640\,\text{mm} \quad d_2 = 4{,}682\,\text{mm}$$

3° Avec deux diaphragmes dont les épaisseurs étaient

$$d_1 = 3{,}946\,\text{mm} \quad d_2 = 3{,}968\,\text{mm}$$

et les rayons

$$r_1 = 8{,}4\,\text{mm} \qquad r_2 = 11{,}7\,\text{mm}.$$

Les moyennes des rapports $\frac{E_1}{E_2}$ déterminés dans les trois séries d'expériences ont été

1re série. . . . . $\frac{E_1}{E_2} = 1{,}0477$
2e série 1,1343
3e série 1,079

Négligeant les différences entre ces moyennes M. Quincke déduit les lois suivantes :

Lorsque l'eau, refoulée par la même pression, traverse deux appareils à diaphragme, le rapport des forces électromotrices est :

1° Indépendant de l'épaisseur des diaphragmes ;

2° Indépendant de la surface des diaphragmes.

Les conclusions de M. Quincke ne peuvent pas être admises sans réserve.

1° La différence entre les moyennes

1,0477 0,1783 1,079

et les nombres qui ont servi à les calculer atteint respectivement dans les trois cas

0,0969 0,1783 0,162

2° La méthode suppose l'absence de polarisation, phénomène qui n'est pas évité ;

3° La méthode suppose l'invariabilité des résistances de l'appareil, condition qui n'est pas réalisée dans l'expérience de M. Quincke où le diaphragme se désagrège, comme le constate M. Quincke (*loc. cit.*, p. 21) ;

4° La méthode présente l'inconvénient de faire passer le courant de chacun des deux appareils à travers l'autre, et de déterminer dans l'appareil à diaphragme correspondant un régime inconnu. La disposition même des appareils rendait l'isolement irréalisable.

B. Application de la méthode de Poggendorff. — La méthode de Poggendorf, telle qu'on l'applique aujourd'hui, permet d'équilibrer à un moment quelconque la force électromotrice d'une source inconnue par une fraction connue de la force électromotrice d'une source étalonnée. La valeur de la fraction est déduite, avec un approximation facile à évaluer du rapport de résistances métalliques étalonnées. La résistance intérieure des piles, les effets de la polarisation, les phénomènes de selfinduction sont éliminés. Les changements de résistance dus aux variations de température sont évités ou corrigés.

A l'époque où M. Quincke fit ses expériences, l'application de la méthode n'était pas réalisable avec une aussi grande perfection. Les étalons de force électromotrice et de résistances n'existaient pas. M. Quincke suppléa à l'insuffisance des ressources par une série de mesures.

L'appareil à diaphragme de force électromotrice inconnue x est opposé à l'élément Daniell de force électromotrice D (fig. 18). Une résistance variable R et la résistance r d'une dérivation AB sont choisies de manière à amener au zéro l'aiguille du galvanomètre G. Si, dans ces conditions, on désigne par I l'intensité du courant dans ABC, intensité

mesurée avec une boussole des tangentes placée en T on a :

$$Ir = x.$$

M. Quincke déduit I de la déviation de l'aiguille de la boussole des tangentes et de la constante de l'appareil.

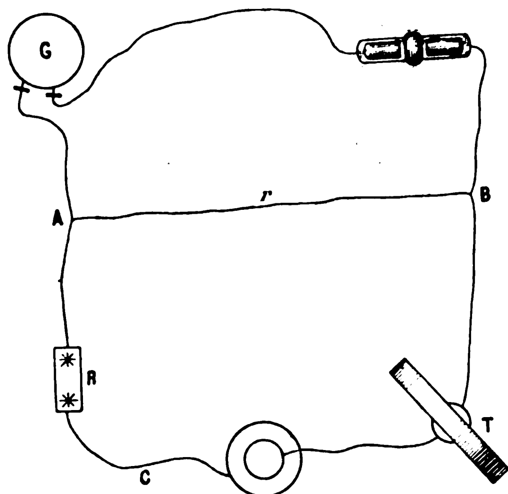


Fig. 18. — Dispositif expérimental de M. Quincke.

La mesure de r nécessite une autre expérience : 1° un Daniell seul est relié aux bornes de la boussole des tangentes, la déviation est ψ en désignant par A la constante de l'appareil, par ρ la résistance du circuit, par D la force électromotrice du Daniell :

$$A \operatorname{tg} \psi = \frac{D}{\rho}$$

2° M. Quincke intercale dans le circuit du Daniell la résistance r, la déviation est ψ_1; alors :

$$A \operatorname{tg} \psi_1 = \frac{D}{\rho + r}.$$

M. Quinke obtient r en fonction de D par l'élimination de ρ entre les deux équations.

La méthode a l'inconvénient de supposer implicitement la résistance intérieure de l'élément Daniell constante pendant toute l'expérience. La mesure de r est déduite avec une approximation inconnue d'une unité non définie : la force électromotrice de l'élément D. La limite de l'erreur ne peut être déterminée.

L'objection la plus grave est la suivante : L'effet du mouvement nécessaire au maintien de la différence de potentiel étudiée, le défaut d'isolement enlèvent encore, dans le cas actuel, toute signification précise aux mesures faites par cette méthode.

Ces critiques fixent les réserves sous lesquelles il convient d'admettre les résultats numériques des expériences suivantes :

2° *Influence des dimensions du diaphragme.* — M. Quincke a successivement comparé (t. CVII, p. 33, 34, 35) à un élément Daniell, dans les conditions indiquées, trois appareils à diaphragme : les dimensions sont indiquées dans les colonnes 2 et 3 du tableau ; les appareils sont traversés par un courant d'eau sous des pressions variables, comme l'indique la colonne 4; les variations de la force électromotrice sont indiquées dans la colonne 5.

1 Numéro du diaphragme.	2 Epaisseur.	3 Rayons.	4 Variations des pressions.	5 Variations des forces électromotrices.
1	2,078 mm	11,7 mm	0,009 de la pression moyenne	0,21 de la force électromotrice moyenne
2	2,064 mm	4,7 mm	0,001 de la pression moyenne	0,16 de la force électromotrice moyenne
3	4,046 mm	12 mm,1	0,002 de la pression moyenne	0,09 de la force électromotrice moyenne

M. Quincke, regardant encore ici les variations de la force électromotrice comme négligeables, admet le résultat suivant : La force électromotrice qui existe, quand une pression déterminée pousse l'eau pure à travers un plateau de terre, est indépendante de la surface et de l'épaisseur du plateau de terre (*loc. cit.*, t. CVII, p. 37).

Les débits, par suite de différences de diamètre des pores, ne sont pas égaux.

Lorsque les débits varient dans les rapports indiqués dans la première colonne du

tableau suivant, les forces électromotrices varient suivant le rapport inscrit dans la seconde.

Rapport des débits.	Rapport des forces électromotrices.
3,265	1,2
3,801	1,06
4,931	1,15
5,176	1.38
5,072	1.30

M. Quincke en conclut que

La force électromotrice qui existe, quand une pression déterminée pousse l'eau à travers un plateau de terre, est indépendante de la quantité d'eau qui traverse le diaphragme.

Les variations de la force électromotrice d'un même appareil traversé par un courant d'eau, à plusieurs jours d'intervalle, ont été :

	Variation de pression.
0,15 de la force électromotrice moyenne	0,001 de la pression moyenne
	Variation de pression.
0,03 de la force électromotrice moyenne	0 de la pression moyenne

La force électromotrice d'un même appareil employé sous la même pression varie donc de 0,03 à 0,15 de sa valeur moyenne dans l'intervalle de plusieurs jours.

3° *Influence de la pression.* — La comparaison des forces électromotrices correspondant à des pressions différentes montre en outre que dans les limites de variations signalées, la force électromotrice d'un appareil à diaphragme est proportionnelle à la pression de l'eau (*loc. cit.*, p. 34, 35, 36).

Un appareil à diaphragme traversé par un courant d'eau sous des pressions différentes se présente donc comme une somme d'électricité caractérisée par une force électromotrice proportionnelle à la pression sous laquelle l'eau traverse le diaphragme.

La force électromotrice d'un appareil à diaphragme, dans lequel l'eau est passée à travers un diaphragme de terre poreuse sous la pression de 760 mm de mercure et dans lequel le courant est recueilli par des électrodes de platine est égale à 0,2737 Daniell (t. CVII, p. 37).

4° *Influence de la nature du diaphragme*, 1° En opposant successivement un élément Daniell, dont la force électromotrice est représentée par 100, à différents appareils à diaphragme, M. Quincke a trouvé que les valeurs maxima des forces électromotrices sont (t. X, p. 50).

Noms des substances constituant le diaphragme.	Force électromotrice en centièmes de Daniell.
Soufre	977,07
Quartz	620,49
Gomme laque . .	330,01
Soie	115,45
Elément Daniell .	100
Terre cuite. . . .	36,15
Asbeste.	22,15
Porcelaine	19,86
Ivoire	3.10
Membrane animale (vessie de porc). .	1,51

5° *Influence de la durée du remplissage de l'appareil.* — La force électromotrice de différents appareils remplis d'eau est mesurée à différents intervalles de temps compris dans les limites de la seconde colonne.

On divise la différence de la force électromotrice maxima et de la force électromotrice minima par la moyenne des valeurs trouvées.

Les résultats ont été :

Nom de la substance. constituant le diaphragme.	Durée du remplissage.	Rapport des forces électromotrices maxima et minima à la force électromotrice moyenne.
Soufre	24 h 25	0,62
Quartz	48 h 5	0,34
Gomme laque . . .	168 h	0,53
Soie		
Terre	240 h ou 10 jours	0,5
Asbeste	176 h	0,28
	1090 h ou 45 jours	0,48
Porcelaine peu cuite	20 h	0,3
» très cuite	43 h 5	0,09
Vessie de porc . . .	50 h	0,04

Si l'on admet que la force électromotrice de l'appareil, construit avec un diaphragme de terre est $0,^{D} 2737$, la variation en 10 jours

d'un semblable appareil est 0,^{D} 13685; la variation atteindrait la moitié de la valeur de la force électromotrice.

Le tableau précédent permet d'apprécier la valeur en Daniell des variations correspondant aux différents appareils.

6° *Influence de la nature du liquide.* — Les rapports de la force électromotrice obtenue avec un même appareil à diaphragme de porcelaine traversé par des liquides différents, à la force électromotrice obtenue dans le cas où le diaphragme est traversé par l'eau, sont d'après M. Quinke :

Concentration.			Rapport de la force électromotrice obtenue avec la dissolution à la force électromotrice obtenue avec l'eau.
Gr.		Gr.	
0,00025	chlor de sodium p^{r}	1 eau	0,16
0,0005	»	1 »	0,12
0,005	»	1 »	0,06

Mélange d'eau et d'alcool :

Poids spécifique du mélange.	
0,9594	1,06

La force électromotrice augmente, lorsque la résistance électrique du liquide augmente et diminue lorsque la résistance électrique diminue, phénomène correspondant à ce qui a été observé dans la première partie.

M. Quincke n'a trouvé aucune loi générale; la question est compliquée d'un autre fait signalé antérieurement par Wagenmann (*Ann. de Pogg*,. t. XXIV, p. 600), le changement de concentration des dissolutions par leur passage à travers des diaphragmes de sable de quartz.

3° EFFETS OBTENUS AVEC LES COURANTS DE DIAPHRAGME

En reliant les électrodes aux nerfs d'une grenouille, comme dans l'expérience de Volta, M Quincke a constaté que le courant électrique d'un appareil à diaphragme de terre traversé par un courant d'eau, commence et finit en même temps que l'écoulement de l'eau (t. CX, p. 571), M. Quincke a décomposé de l'iodure de potassium et chargé un électroscope condensateur à feuilles d'or.

Le courant produit par un appareil est donc analogue au courant produit par un élément à pile.

III. — Réciprocité des deux ordres de phénomènes

I. — DE LA RÉCIPROCITÉ ET DE LA RÉVERSIBILITÉ

L'étude développée de la première partie établit le fait suivant :

Si une auge électrolytique remplie de liquide en équilibre est divisée en deux compartiments par un diaphragme, un courant électrique d'intensité I_1 produit par une différence de potentiel V_1 maintenue entre deux électrodes placées de part et d'autre du diaphragme, détermine une diminution de volume de liquide U_1 dans l'un des compartiments et une augmentation égale dans l'autre, et établit entre les deux faces du diaphragme une différence de pression correspondante P_1.

D'après les développements de la deuxième partie : Une différence constante de pression P_2 de part et d'autre du diaphragme, dans le même appareil, détermine l'écoulement du volume U_2 de liquide à travers le diaphragme et, en même temps, l'établissement d'une différence de potentiel V_2 entre les électrodes et la production d'un courant d'intensité I_2.

Si la pression P_1 était constante $P_1 U_1$ serait la mesure d'un travail mécanique correspondant à la dépense d'un courant d'intensité I_1 maintenu par une différence de potentiel V_1; $V_2 I_2$ est la mesure d'un travail électrique correspondant à un changement de volume de U_2 sous une pression constante P_2 ou à la dépense d'un travail mécanique $P_2\, U_2$.

Si les travaux $P_2\, U_2$ et $V_2 I_2$ évalués avec des unités correspondantes sont égaux,

$$P_2 U_2 = V_2 I_2. \qquad (1)$$

D'un autre côté, d'après la loi de la proportionnalité des variations de volume aux intensités établie par M. G. Wiedemann, on a en appelant c un coefficient constant,

$$U_1 = cI_1 \qquad U_2 = cI_2 \qquad (2$$

par conséquent si la relation (1) est satisfaite :

$$\frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} = \frac{V_2}{P_2}.$$

Dans ce cas, si un appareil à diaphragme est monté de manière que l'on puisse mesurer : 1° la variation du volume U produite par le passage d'un courant d'intensité I à travers un liquide ; 2° la différence du potentiel V correspondant à l'écoulement à travers le diaphragme du liquide sous la pression P, il existe entre les quatre quantités la relation

$$\frac{U}{I} = \frac{V}{P}. \qquad (3)$$

La relation (3) a été déduite par M. Saxén (*loc. cit.*) d'autres considérations ; le raisonnement par lequel l'équation a été établie avait pour but : 1° de séparer la relation de toute considération théorique sur le mode d'action du courant ; 2° de préciser la division de l'expérience en deux phases distinctes dans lesquelles la pression P de l'une ne produit pas la variation de volume U de l'autre, et la différence V de l'une ne produit pas le courant I de l'autre ; 3° de montrer que les expériences de M. Saxén (*Ann. de Wiedemann* N. F., t. XLVII, 1892, p. 46) qui ont eu pour but la vérification de l'équation (3) établissent la réciprocité, mais non la réversibilité des phénomènes.

La réversibilité est la possibilité de décrire un même cycle d'opérations avec le même appareil dans deux sens opposés.

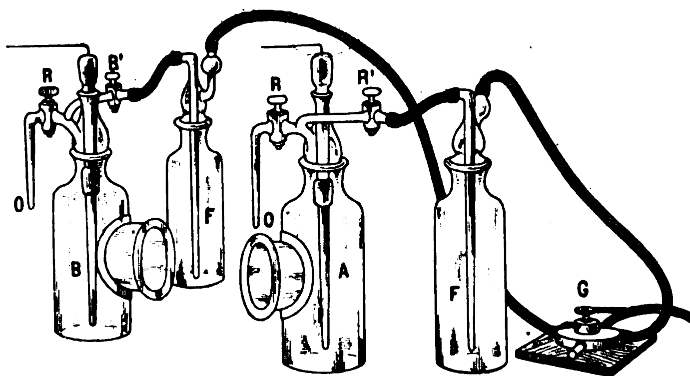


Fig. 19.

La vérification de la réversibilité exigerait, dans la seconde phase, la production du courant primitif par le passage du liquide à travers le diaphragme, sous la pression correspondante à la dénivellation et le retour du système à l'état initial.

Aucune de ces conditions n'est réalisée dans la vérification expérimentale de l'équation (3).

La pression de la seconde expérience n'est pas celle qui a été déterminée par l'augmentation de volume de la première expérience ; le travail interne du système n'est ni évalué ni éliminé. La notion de la réversibilité entraînerait d'ailleurs des considérations sur le mode d'action du courant et impliquerait des hypothèses qui dépassent l'étude purement expérimentale exposée ici.

Cette restriction posée, les expériences de M. Saxén présentent encore un intérêt très grand : 1° par les progrès réalisés dans l'application des méthodes ; 2° par le soin pris par l'auteur pour discuter les causes d'erreur ; — 3° par les résultats obtenus.

2. — VÉRIFICATION DE LA RÉCIPROCITÉ

1° *Description des appareils.* — Deux flacons semblables (fig. 19) A et B sont réunis par deux tubulures inférieures entre les bords desquelles est serré le diaphragme D. Des bouchons creux terminés par des tubes effilés qui descendent au fond des flacons, fer-

ment les flacons. Une tubulure verticale laisse passer les fils reliés aux électrodes. Deux autres tubulures horizontales munies de robinets RR′ permettent d'établir la communication des flacons d'un côté avec un réservoir F, de l'autre avec un tube effilé O. Les deux flacons F sont rattachés par des caoutchoucs avec la clef G à l'aide de laquelle on relie une des moitiés de l'appareil avec une pompe à mercure, l'autre avec l'atmosphère. Le jeu des robinets R et de la clef G permet de raréfier l'air dans un flacon et de maintenir l'autre en communication avec l'atmosphère.

2° *Expérience.* — L'un des flacons A, par exemple, et le flacon F correspondant sont remplis du liquide à étudier, l'autre flacon B et le réservoir correspondant F est mis en communication par la clef G avec la pompe. L'air est retiré de B et du diaphragme que le liquide imbibe. M. Saxén attend encore 12 à 15 heures avant de faire les expériences (*loc. cit*, p. 51).

L'étude des variations de volume correspondant au passage du courant est faite comme il suit : Les flacons et les tubes étant remplis de liquide et les robinets R fermés, les robinets R′ ouverts, M. Saxén fait passer par l'électrode E le courant d'une pile de 35 éléments Daniell de gravitation dont la force électromotrice était constante à de très petites oscillations près ; l'augmentation de volume en B détermine l'écoulement du liquide de l'orifice O par gouttes. Le volume U du liquide écoulé et le temps de chute des gouttes sont mesurés (*loc. cit.* p. 52).

L'intensité du courant était mesurée toutes les cinq minutes avec un galvanomètre Siemens dont la résistance, évaluée le 25 novembre 1890, fut trouvée égale à 3198 ohms, et contrôlée le 30 octobre 1891, à la même température trouvée égale à 3 200 ohms.

La mesure de la force électromotrice V produite par le passage du liquide à travers le diaphragme, sous l'effet de la pression P, a été faite par la méthode de Poggendorff, en opposant l'appareil à un Daniell normal dont la résistance avait été déterminée par la méthode de Mance (*loc. cit.*, p. 51).

Les volumes, les intensités, les forces électromotrices et les pressions ont été évalués en unités C. G. S.

3° *Résultats.* — Les valeurs des rapports $\frac{U}{I}$, $\frac{V}{P}$ déduites d'expériences faites avec des diaphragmes de terre de 3,3mm et de 3,35mm d'épaisseur et des dissolutions de sulfate de zinc, de cuivre, de cadmium et des électrodes impolarisables sont :

		$\frac{U}{I}$	$\frac{V}{P}$	Différences.
$ZnSO^4 + 7$ aq	1/2 p. 100	0,3597	0,3515	+ 0,0082
	3/4 »	0,3866	0,3882	— 0,0016
	3/4 »	0,3768	0,3698	+ 0,0070
$CuSO^4 + 5$ aq	1 »	0,3923	0,3800	+ 0,0123
	» »	0,3847	0,3887	— 0,0040
	» »	0,3780	0,3869	— 0,0089
	2 »	0,2329	0,2371	— 0,0042
$CdSO^4 + 5$ aq.	1/2 »	0,6327	0,6094	+ 0,0233
	» »	0,5318	0,5666	— 0,0348
	1 »	0,1157	0,1153	+ 0,0004

Les différences $\frac{U}{I} - \frac{V}{P}$ sont très faibles et de signe variable, on doit chercher si les différences sont négligeables et si la vérification est rigoureuse.

M. Saxén en discutant les résultats montre que l'effet de l'évaporation est négligeable dans la mesure des volumes U, que l'effet de la polarisation des électrodes de zinc pur dans le sulfate de zinc n'entraine aucune erreur appréciable (*loc. cit.*, p. 58), mais ne donne pas l'approximation numérique des différentes mesures ; il n'est pas possible de

savoir si les différences observées sont au-dessous de la somme des erreurs d'observation.

Une autre difficulté se présente. La différence $\frac{U}{I} - \frac{V}{P}$ n'est pas nulle, lorsque le liquide placé dans l'appareil est l'eau distillée avec des électrodes en platine (*loc. cit.*, p. 64).

Pour chercher une interprétation de ce fait, il faut remarquer que l'égalité

$$\frac{U}{I} = \frac{V}{P}$$

est déduite : 1° du principe de la conservation de l'énergie ; 2° de la loi de la proportionnalité des variations de volume aux intensités établie par M. G. Wiedemann, en employant successivement l'eau distillée et des dissolutions de sulfate de cuivre. L'écart ne peut pas être attribué à une infraction à ces lois.

Les seules suppositions à faire pour expliquer le fait sont : 1° l'hypothèse vague et peu admissible d'un travail interne, inconnu, à la production duquel serait employée une partie de la pression P, de telle sorte que la production de la force électromotrice serait due à une partie seulement de la pression ; 2° l'hypothèse d'une erreur dans l'évaluation de la force électromotrice V. La différence de potentiel mesurée par la méthode de Poggendorff est la somme de la force électromotrice développée au moment de l'écoulement du liquide et de la force électromotrice K de contact des électrodes et des liquides. Le terme K est un terme correctif dont la valeur est déterminée par M. Saxén (*loc. cit.*, p. 51-52). Si la valeur de ce terme est très grande, si la détermination est incertaine où soumise à des erreurs assez grandes, la valeur de V sera erronée dans des proportions inconnues et l'égalité ne sera pas satisfaite.

Cette seconde interprétation semble très plausible et bien préférable à la première et à l'hypothèse vague d'impuretés trop facilement admise pour expliquer des écarts dans ces expériences. Cette opinion paraît être celle de M. Saxén, quoique l'auteur n'ait pas voulu l'émettre explicitement.

Nous concluons, à la suite de cette discussion, à une vérification très approchée de la relation (3) sans que la limite d'approximation soit déterminée.

Les expériences de M. Saxén acheminent vers une vérification qui serait très intéressante de la réversibilité, mais ne l'établissent pas, comme il a été démontré.

(*A suivre.*)

G. Gouré de Villemontée.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Caractéristique de dynamo;

Par W.-M. Stine [1].

La caractéristique en question se rapporte à une dynamo de 4 kilowatts, soit 110 volts, fonctionnant avec son enroulement en dérivation. La résistance introduite dans le circuit inducteur est réglée de telle façon que la machine donne le voltage de 110 volts à vide et laissée la même pendant toute la durée de l'expérience.

La caractéristique externe, différence de potentiel aux bornes en fonctionnant de l'intensité du courant est représentée sur la figure. On voit que l'intensité maxima que l'on peut atteindre est de 10,5. L'abaissement rapide de la courbe s'explique très bien par la présence d'une forte réaction d'induit. Si l'on continue à diminuer la résistance extérieure, l'intensité décroît ainsi la tension aux bornes, laquelle atteint 2 volts pour un débit de 5,25 ampères.

[1] *American Electrical*, juillet 1897. *The Electrician* du 13 août 1897.

En augmentant ensuite la résistance extérieure on obtient une courbe montante assez semblable à la première, mais bien distincte de celle-ci.

L'auteur rappelle qu'il est important de considérer l'effet obtenu par une ouverture et une fermeture du circuit puisqu'on a atteint les plus faibles valeurs de la tension aux

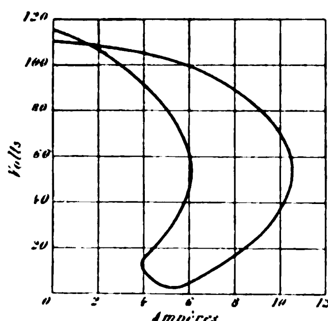


Fig. 1.

bornes. Supposons en particulier qu'on ouvre le circuit lorsque le courant est de 8 ampères et la tension de 17 volts, la tension monte à sa valeur normale voisine de 110 volts; si donc on ferme à nouveau le circuit dont la résistance était de 2,1 ohms, le courant monte à 50 ampères et peut endommager les appareils de mesure, les différents régimes doivent donc s'obtenir sans couper le courant.

En somme, la conclusion qu'on peut déduire de la courbe est que le fait d'avoir un courant maximum de trois fois inférieur au courant normal indique la présence d'un champ inducteur faible et d'une grande réaction d'induit. J. R.

Sur la déformation des courants alternatifs par la self-induction dissymétrique;

Par H. Eisler et M. Reithoffer [1].

Les auteurs se sont proposés de démontrer théoriquement et expérimentalement l'impossibilité d'une invention déjà ancienne de Tesla. Il s'agit de son système de redresseur de courants alternatifs basé sur l'emploi de deux circuits dérivés présentant des self-inductions de valeurs différentes suivant le sens du courant [1]. Il n'est peut-être pas très généreux de revenir sur cette conception utopique d'un inventeur qui a prouvé depuis qu'il savait faire mieux. S'il y eut à l'époque quelque incertitude relative à la valeur de la solution proposée, il ne saurait y avoir de doute aujourd'hui, et Tesla aura été le premier à le reconnaître. Nous donnerons toutefois une analyse dudit travail, parce qu'il se place à un point de vue assez général et que ses considérations principales peuvent s'appliquer à nombre d'autres cas.

Un conducteur soumis à une différence de potentiel sinusoïdale crée un champ magnétique dont l'intensité varie suivant une sinusoïde, quelles que soient les propriétés magnétiques du milieu, en supposant toutefois que la résistance ohmique du conducteur est négligeable. Si l'on connaît la relation entre l'induction magnétique et l'intensité de champ pour le milieu considéré, il est facile d'en déduire la courbe du courant. On peut ainsi distinguer trois formes principales de courbes de courant :

1. Si le conducteur est enroulé autour d'un circuit magnétique de perméabilité constante, l'intensité de courant est proportionnelle à l'induction; elle est représentée par une sinusoïde de même phase que l'induction.

2. Si la perméabilité du noyau de solénoïde est variable, mais sans présenter d'hystérésis, le courant ne peut plus conserver la forme sinusoïdale, quoique l'induction soit sinusoïdale.

Soit, par exemple, fig. 1, la courbe de l'induction en fonction de l'intensité de champ; on peut en déduire graphiquement la courbe du courant. Pour simplifier la construction, on divise l'échelle des ordonnées par s et celle des abscisses par $\frac{4\pi N}{10\, l}$ (s = section, N = nombre de spires, l = longueur moyenne du

[1] *Electrotechnische Zeitschrift*, nos 50 et 51, 1896.

[1] *La Lumière Électrique*, t. XXXIV, p. 542.

solénoïde); on obtient ainsi le flux Φ en fonction de l'intensité du courant I. La variation du flux entre b et b', intégrale de la différence de potentiel supposée sinusoïdale, est représentée en fonction du temps par la sinusoïde (fig. 2). En effectuant par points la construction Om (fig. 1) $= pq$ (fig. 2) pour la période

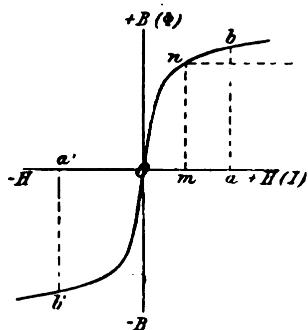


Fig. 1.

entière, on obtient la courbe du courant I de la fig. 2 qui est caractérisée par sa coïncidence de phase avec l'induction et par sa

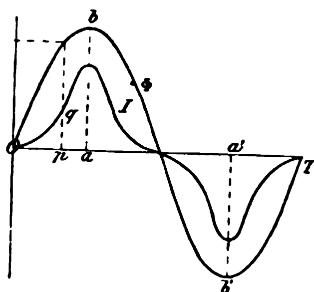


Fig. 2.

forme symétrique par rapport à l'ordonnée maxima.

3. Si nous faisons la même construction pour un solénoïde dont le noyau présente de l'hystérésis (fig. 3), nous obtiendrons une courbe de courant (fig. 4) dont les maxima coïncident avec ceux du champ, mais dont les passages par zéro sont décalés en avant; la courbe n'est plus symétrique par rapport à l'ordonnée maxima, mais les maxima et minima sont encore égaux entre eux.

Ces trois cas sont les seuls qui se présentent quand la variation du champ se fait entre deux maxima, l'un positif, l'autre négatif, d'égale valeur. Mais si la variation du champ se fait autour d'une certaine valeur positive ou négative, de sorte que l'axe des abscisses n'est plus l'axe de symétrie, alors la partie positive de l'onde de courant différera de la partie négative dans tous les cas où la perméabilité est variable.

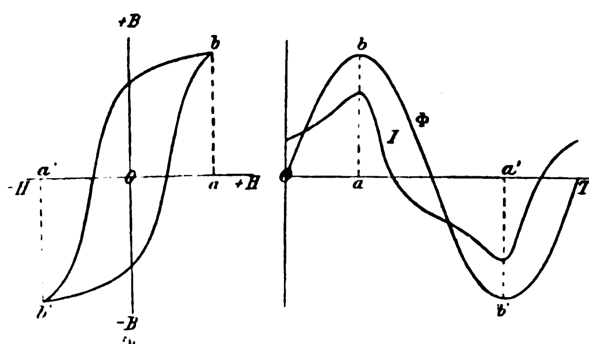


Fig. 3 et 4.

Nous réaliserons cet état de choses en ajoutant à notre solénoïde un enroulement excité par un courant continu. Si le noyau de fer est presque saturé, la demi-onde de courant qui agit dans le même sens que le courant continu rencontrera une force contre-électromotrice de self-induction moindre que la demi-onde de sens contraire, à cause de la différence de perméabilité dans les deux cas. Il s'ensuit que la première demi-onde (que nous appellerons positive) aura un maximum plus grand que le maximum négatif. Il pourrait donc sembler que de cette façon on ferait produire à une source de courant alternatif un courant de sens constant (au moins partiellement). Avec une grande différence entre les maxima positif et négatif la courbe du courant ressemblerait à celle d'un courant intermittent toujours de même sens. Il serait alors facile de combiner plusieurs courants et de réaliser ainsi sans commutateur une transformation du courant alternatif en courant continu.

C'est l'application de cette méthode qui a fait l'objet d'un brevet de Tesla. Elle consiste à envoyer le courant d'un alternateur A (fig. 5) dans deux circuits parallèles C et D contenant chacun un solénoïde E et F à noyau magnétique fermé J et J' portant un second enrou

lement H et H' alimenté par une source de courant continu I. Les enroulements sont reliés de manière que la demi-onde positive agisse dans le solénoïde E dans le même sens

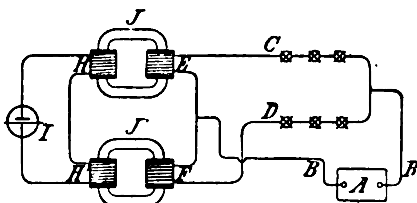


Fig. 5.

que le courant continu, tandis que la demi-onde négative agit dans ce solénoïde en sens opposé du courant continu. Dans le second solénoïde F, c'est au contraire la demi-onde négative qui assiste le courant continu et la demi-onde positive qui agit en sens contraire.

Si le courant continu aimante le noyau jusqu'au coude de la courbe d'aimantation, le courant positif doit vaincre une résistance inductive petite en E, grande en F; l'inverse a lieu pour le courant négatif. Les courants positifs auraient donc une préférence pour le circuit C et les courants négatifs passeraient de préférence dans le circuit D.

Il est facile de se rendre compte que ces courants ne peuvent aucunement produire des effets analogues à ceux d'un courant continu. Il suffit pour cela d'intégrer l'équation générale :

$$ir = e - N \frac{d\Phi}{dt}.$$

L'intégrale de *edt* étendue sur une période entière est nécessairement nulle, puisque la force électromotrice est sinusoïdale par hypothèse ; d'autre part, la variation totale du flux est également nulle, puisque les valeurs finale et initiale sont égales. Il en résulte que l'intégrale de *idt* ou que la quantité d'électricité par période est nulle. Ce résultat est indépendant des variations de la self-induction ainsi que de la valeur moyenne du flux.

Si l'on trouve, malgré cette égalité des quantités d'électricité positive et négative, des amplitudes de courant plus grandes dans un sens que dans l'autre, c'est qu'il existe une différence correspondante entre les durées des deux parties de la période.

Pour ces différents cas, on peut construire comme nous l'avons vu précédemment les courbes des forces magnétisantes résultantes (fig. 6). La courbe I correspond au cas où le

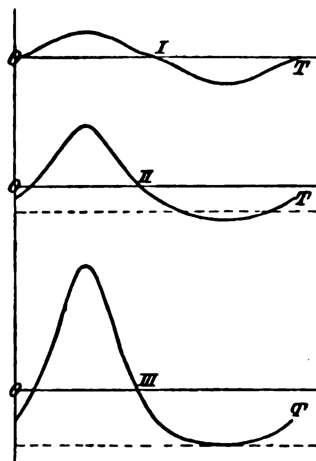


Fig. 6.

noyau ne possède pas d'aimantation préalable; les courbes II et III représentent les ampères-tours résultant de l'action combinée du courant continu et du courant pulsatoire pour deux valeurs de l'aimantation continue. Ces courbes ont pour axes des abscisses les lignes pointillées. Pour en déduire les ampères-tours et par suite l'intensité du courant alternatif, il suffit de remonter l'axe des abscisses jusqu'à ce que la courbe présente de part et d'autre de cet axe la même surface. On voit que le maximum positif est beaucoup plus élevé que le maximum négatif, mais que la durée du courant positif est aussi moindre que celle du courant négatif. L'hystérésis introduirait dans ces courbes une dissymétrie des points zéro par rapport aux maxima.

Ces faits ont été vérifiés expérimentalement en employant un petit transformateur Ganz, dont les dimensions sont :

Nombre de spires primaires.	360
» secondaires. . . .	36
Longueur moyenne du circuit magnétique, ...	51,5 cm
Section du fer.	24,5 cm²

La figure 7 indique le montage des appareils. Dans le circuit d'un alternateur Sie-

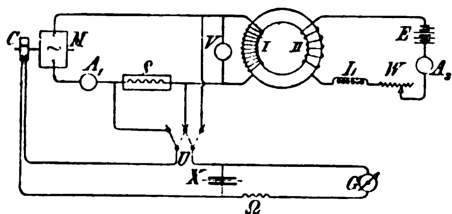


Fig. 7.

mens M étaient intercalés un ampèremètre à dilatation A_1, une résistance non inductive $\rho = 110$ ohms et l'enroulement primaire I du transformateur. Aux bornes de cet enroulement était intercalé de temps à autre un voltmètre à dilatation V pour vérifier la constance du voltage. Une batterie d'accumulateurs E alimentait le circuit secondaire II du transformateur; ce circuit comprenait en outre un ampèremètre A_2, un rhéostat W et une self-induction L destinée à éteindre les courants alternatifs induits par I dans II. L'arbre de l'alternateur était muni d'un dispositif de contact périodique C qui mettait le condensateur X sur les bornes de la résistance ρ ou sur celles de l'alternateur suivant la position du commutateur U; ce condensateur se dé-

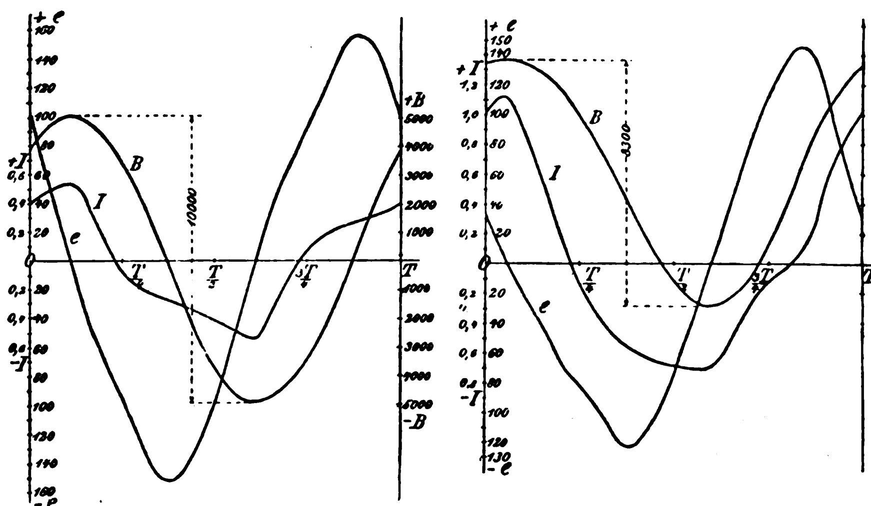


Fig. 8 et 9.

chargeait dans un galvanomètre G avec résistance additionnelle en graphite Ω.

A circuit secondaire ouvert, le primaire était parcouru par un alternatif de 0,34 ampère, cette intensité s'élevait à 0,59 ampère quand la batterie envoyait dans le circuit secondaire un courant continu de 2,77 ampères. Ces intensité de courant étaient maintenues constantes pendant les mesures.

Les figures 8 et 9 donnent les résultats de ces mesures. La première se rapporte au cas où l'on fait agir le courant alternatif seul; la seconde donne les courbes du courant I et de la différence de potentiel *e* obtenues quand le noyau était en outre aimanté par le courant continu. Ces courbes confirment les considérations théoriques développées plus haut; le courant (fig. 9) présente un maximum positif plus grand que le négatif (1,13 contre 0,71), mais la durée du courant positif est à celle du négatif comme 27 à 37 et les deux surfaces de part et d'autre de l'axe des abscisses sont égales. La petite déformation de la courbe du voltage est due à la présence dans le circuit primaire de la résistance additionnelle non négligeable ρ. Les ordonnées donnent les valeurs absolues en volts et en ampères.

On a ajouté sur les deux figures les courbes de l'induction magnétique B. Dans le cas de la figure 9, on n'a pu naturellement calculer (en intégrant la différence de potentiel aux bornes du primaire) que la valeur absolue des

variations de B, tandis que la hauteur de cette courbe au-dessus de l'axe des abscisses reste indéterminée ; on sait seulement que ce dernier ne coïncide pas avec l'axe de symétrie de la courbe B.

Il était intéressant d'examiner ce que devenait dans les deux cas le travail d'hystérésis. Les deux courbes d'hystérésis construites avec les données précédentes sont représentées figure 10. Pour la courbe II on

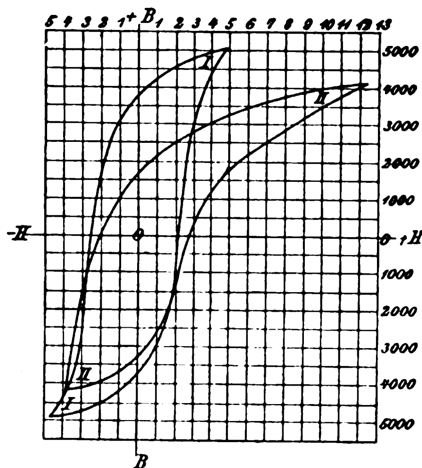


Fig. 10.

ne connaît pas l'emplacement de l'axe des abscisses, ce qui est d'ailleurs inutile pour l'évaluation de la surface.

Si l'on fait $\int H dB$ pour les deux courbes, on constate un écart considérable avec le résultat que fournit l'application de la formule de Steinmetz, qui se trouve une fois de plus infirmée. On sait que cette formule

$$W = \eta_1 \left(\frac{B_1 - B_2}{2} \right)^{1,6}$$

doit, suivant son auteur, s'appliquer également au cas d'une variation dissymétrique du champ.

Or, on trouve pour la boucle I par cm^3 et par cycle :

$$W = 3020 \text{ ergs,}$$

pour

$$\frac{B_1 - B_1}{2} = 5000.$$

On en déduit

$$\eta_1 = 0,00364.$$

Pour la boucle II on a :

$$W = 2840 \text{ ergs,}$$

pour

$$\frac{B_1 - B_2}{2} = 4150.$$

d'où

$$\eta_1 = 0,00462$$

alors que η_1 devrait être une constante pour le même fer. Cette divergence considérable a incité les auteurs à faire une nouvelle expérience avec le même transformateur : ils ont mesuré par la méthode de Potier, à l'électromètre, la puissance absorbée par le primaire ; la différence de potentiel aux bornes du primaire ayant été la même dans les deux cas (avec ou sans excitation continue additionnelle), la variation totale de l'induction a dû être aussi approximativement la même. On aurait donc dû trouver pour les boucles II et I des travaux d'hystérésis égaux. En réalité, ces travaux différaient entre eux dans le rapport 38,8 : 22,8.

Rappelons comme ayant quelque rapport avec le sujet traité par les auteurs, la dissymétrie introduite dans le téléphone par l'aimantation permanente du noyau et aussi le cas particulier de la bobine d'induction alimentée par des courants intermittents et dont les courants secondaires présentent des formes analogues à celles des courbes figure 6. A.H.

La transmission sur les longs câbles sous-marins ;

Par R.-M. SAYERS et S.-S. GRANT[1].

Au point de vue de l'importance de la télégraphie sous-marine, les auteurs rappellent d'abord que le capital actuellement engagé dans les câbles sous-marins atteint un milliard de francs, dont les trois quarts sont d'ori-

(1) Communication faite aux étudiants de l'Institution of Electrical Engineers.

gine anglaise. Il existe à présent environ 130 câbles de plus de 700 km de longueur.

On sait que la courbe du courant d'arrivée,

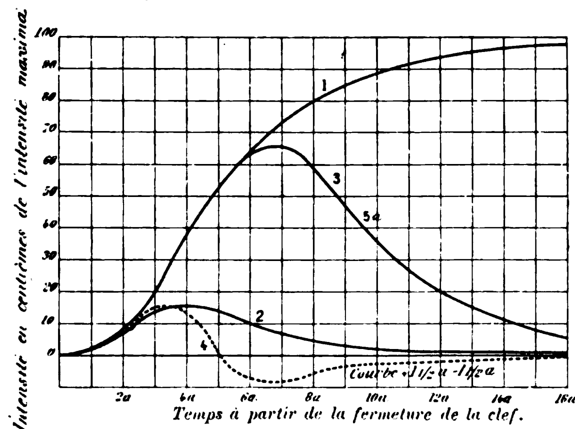


Fig. 1. — Courbes du courant d'arrivée.

à partir du moment où la pile au départ est mise en communication permanente avec le câble, affecte la forme de la courbe 1 (fig. 1). Elle s'exprime par la formule établie par lord Kelvin :

$$i = \frac{V}{rl}\left\{1 + 2\sum_{n=1}^{n=\infty} e^{-\frac{n^2\pi^2 t}{rkl^2}} \cos n\pi\right\}$$

dans laquelle i désigne l'intensité du courant; V, le potentiel appliqué; r, la résistance par kilomètre; k, la capacité par kilomètre; l, la longueur du câble en kilomètres; t, le temps en secondes compté à partir de l'origine de l'émission.

Le courant est infiniment petit jusqu'au bout d'un temps

$$\alpha = \frac{krl^2}{\pi^2}\log_e\frac{4}{3} = \frac{CR}{10^6}\times 0{,}02915 \text{ seconde}$$

R étant la résistance totale du câble en ohms et C sa capacité en microfarads.

Toutes choses égales d'ailleurs, α varie comme le carré de la longueur du câble. Voici quelques valeurs de α pour différents câbles :

DÉSIGNATION DES CABLES	LONGUEUR kilomètres.	k micro-farads.	r ohms.	α secondes.
Atlantique 1865	3510	0,3535	4,270	0,158
» 1873	3480	0,353	3,167	0,115
» 1894	3420	0,419	1,683	0,0701
Pacifique projeté	6760	0,420	2,250	0,368
Anglo-norvégien	785	0,303	6,864	0,0108

Théoriquement, le courant d'arrivée n'atteint son maximum qu'à l'infini, pratiquement au bout d'un temps équivalent à 25 α.

Mode de transmission et code employé. — Comme code de signaux, on se sert de l'alphabet Morse modifié par Wheatstone; un point est représenté par un courant négatif, un trait par un courant positif.

Le transmetteur est une simple clef d'inversion; les instruments récepteurs sont le galvanomètre à miroir et le siphon-recorder.

Les courbes 2 et 3 de la figure 1 montrent la forme du courant pour des périodes de contact de la clef d'émission égales respectivement à α et à 5 α, le câble étant ensuite mis à la terre. L'onde à l'arrivée est tellement étalée que les émissions ne peuvent se succéder sans mélange qu'avec un intervalle de 6 à 7 α, ce qui correspond à une vitesse de transmission très petite. En pratique, l'intervalle entre deux émissions ne doit pas excéder 1 α. Les auteurs décrivent les moyens employés pour atteindre ce résultat.

Signaux bridés. — Si immédiatement après l'émission on envoie un courant de sens inverse, celui-ci accélère la décharge du câble. La courbe du signal ainsi bridé retourne plus rapidement au zéro; elle le dépasse même si le courant inverse dure trop longtemps. La courbe 4 (fig. 1) montre un signal bridé en

envoyant un courant positif pendant 1,5 α seconde, et ensuite un courant négatif de la même durée. A cette vitesse, la durée d'un signal est un peu supérieure à 3 α. Les durées des courants inverses doivent être d'autant plus près de l'égalité que la vitesse de transmission est plus grande. En général, le rapport de la durée du courant principal à celle du courant inverse est de cinq à quatre.

Il est à remarquer que le maximum atteint dans la courbe 4 par le courant positif en 1,5 α seconde est à peu près de même valeur que celui d'un signal non bridé durant seulement 1 α seconde; pour cette raison, la transmission de signaux bridés nécessite une pile de force électromotrice presque double de celle nécessaire pour les signaux simples.

Au lieu de n'employer que deux courants, on peut envoyer plusieurs courants successifs de durées différentes pour la formation d'un signal; théoriquement, il faudrait même un nombre infini d'alternativités pour ramener la courbe rapidement au zéro. Varley a employé la combinaison de courants suivante :

— 0,213 α;
— 0,247 α,
— 0,092 α,
— 0,048 α,
terre 0,400 α,

après quoi un nouveau signal peut être transmis, le câble étant alors complètement déchargé.

Lord Kelvin et le professeur Fleeming Jenkin ont imaginé un transmetteur automatique dit *curb sender* qui donne la succession de courants positifs et négatifs formant les signaux bridés. La figure 2 donne

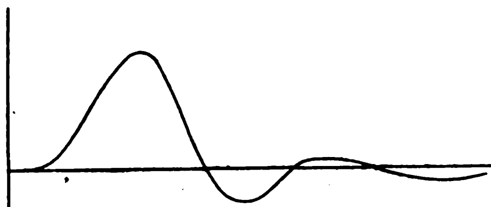


Fig. 2. — Signal bridé, + 3 α, — 3α, + 1 α.

la courbe d'un signal formé avec un courant positif de durée 3 α, un négatif pendant 3 α, et un positif pendant 1 α. Pour le signal (fig. 3), la combinaison est 1 α, + 4 α, — 2 α.



Fig. 3. — Signal bridé, — 1 α, + 4 α, — 2 α.

On n'emploie guère jusqu'à présent que des combinaisons de deux courants par signal, mais on étudie l'application des autres combinaisons.

Emploi de condensateurs. — Un condensateur inséré en série dans le circuit au poste d'arrivée, en se chargeant au moment de l'émission et se déchargeant au moment de la mise à la terre, produit une inversion de courant et fournit un signal bridé (fig. 4). Si



Fig. 4. — Courant d'arrivée avec condensateur.

l'émission positive est de courte durée, le signal affecte la forme de la courbe fig. 5

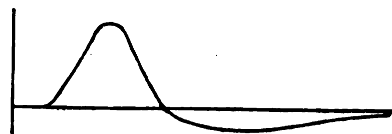


Fig. 5. — Signal avec condensateur.

comparable avec la courbe 4 (fig. 1). La présence d'un condensateur assure en outre la stabilité du zéro (voir fig. 6 et 7). En pratique, on emploie deux condensateurs, l'un à l'arrivée, l'autre au départ; on accroît ainsi de 33 p. 100 la vitesse de transmission par rapport à la vitesse que permet l'emploi d'un

seul condensateur. Cette méthode offre encore l'avantage d'isoler complètement le câble

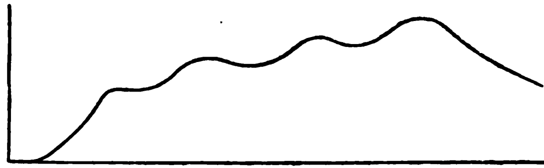


Fig. 6. — Lettre « *h* » sans condensateur.

par rapport aux courants parasites dont l'intensité varie lentement. On donne à chacun



Fig. 7. — Lettre « *h* » avec condensateur.

des condensateurs une capacité égale au douzième ou au dixième de celle du câble.

Vitesse de transmission. — La vitesse de transmission s'exprime dans sa relation avec le produit C R du câble :

Nombre de lettres par minute × C R = constante = K,

ou

$$\nu = \frac{K}{CR},$$

ν représentant le nombre de lettres transmises par minute.

Cette constante est d'environ 500 pour les signaux simples avec emploi de condensateurs, et d'environ 720 pour les signaux bridés, quoiqu'on ait atteint expérimentalement 900 avec des transmetteurs automatiques. Sur le câble atlantique de 1894, une constante de 500 correspond à 203 lettres par minute, soit environ 30 mots, ce qui représente une durée 1,14 α par signal ; avec une

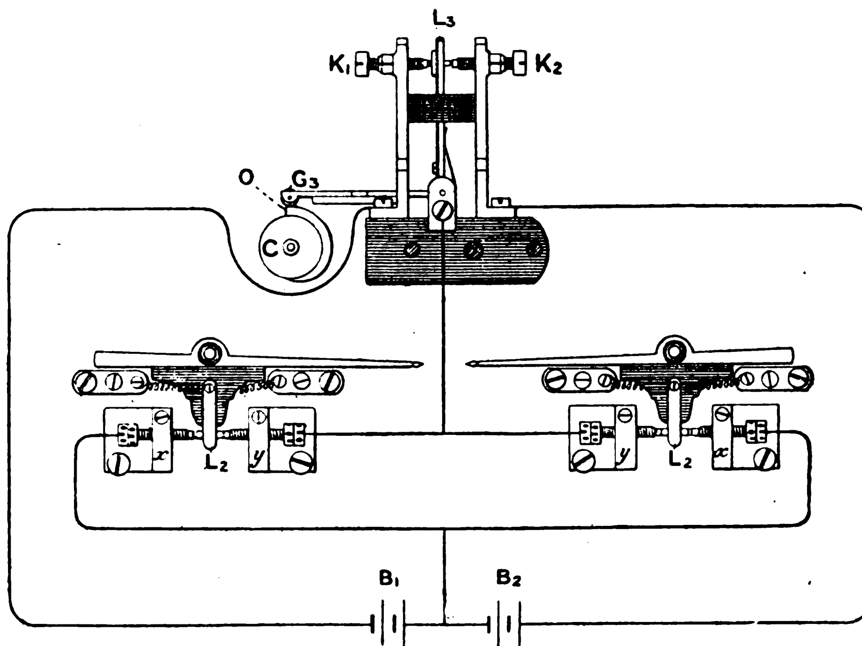


Fig. 8. — Schéma du *curb-sender* Murhead.

constante de 720, on obtiendrait 0,791 α par signal. Ces nombres sont calculés sur la base de 3,7 signaux (points ou traits et espacements) par lettre.

Instruments de réception. — Les auteurs donnent ici une description du galvanomètre à miroir et du siphon-recorder ; ces instruments étant bien connus, nous n'en reproduirons pas la description, renvoyant au récent article de M. Rossel [1] pour la description des derniers perfectionnements.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 193 et 295, 1897.

Transmetteurs automatiques. — Le fonctionnement de ces appareils est semblable à celui du transmetteur Wheatstone. La dépêche est découpée à l'aide d'un perforateur dans une bande de papier. Un des poinçons du perforateur perce dans l'axe de la bande une série de trous équidistants qui servent pour l'entraînement de la bande par une roue dentée; deux autres poinçons perforent la bande de part et d'autre de cet axe, les trous d'un côté représentent des points, ceux de l'autre côté des traits. La bande ainsi préparée passe dans le transmetteur sous deux aiguilles placées respectivement au-dessus des deux rangées extérieures de trous. En tombant dans ces trous, ces aiguilles font pivoter un levier de contact et émettent l'une un courant positif, l'autre un courant négatif.

La figure 8 est un schéma du *curb sender* de Muirhead. Les deux leviers $L_2 L_2$ sont reliés l'un à la ligne, l'autre à la terre. Les contacts $x x$ communiquent entre eux et avec le milieu des batteries de piles $B_1 B_2$. Les contacts $y y$ sont également réunis, mais leur communication avec l'une ou l'autre pile dépend de la position d'un troisième levier L_3 qui constitue un commutateur à deux directions.

Dans leur position normale, les leviers $L_2 L_2$ sont sur les contacts y et mettent par conséquent le câble à la terre. Supposons que l'une des aiguilles mentionnées précédemment tombe dans un trou de l'une des rangées de la bande; un des leviers, celui de gauche par exemple, prendra contact avec x et comme à ce moment le galet G_3 sera tombé dans le creux de la came C, le levier L_3 sera sur le contact K_1. Dans cette position, la pile B_1 envoie dans le câble un courant négatif représentant un point. Mais la came en tournant amène le levier L_3 sur le contact K_2 et pendant une partie de la révolution de la came la pile B_2 envoie par conséquent un courant positif pour la décharge du câble. Le levier L_2 de gauche retourne ensuite au repos et le transmetteur est prêt pour l'envoi d'un nouveau signal.

Pour la description des parties mécaniques et du mouvement des cames, nous renvoyons au travail original. Ces instruments dont l'emploi commence à se répandre permettent d'augmenter d'au moins 40 p. 100 la vitesse de transmission.

Les auteurs décrivent ensuite les différentes méthodes de transmission en duplex et les lignes artificielles employées. En terminant, ils rappellent quelques propositions récentes de perfectionnement des câbles par des fuites artificielles distribuées le long du conducteur, procédés qui ne paraissent pas très pratiques à cause de l'augmentation exagérée du potentiel de départ qu'ils exigent. A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 6 novembre 1897.

M. CORNU expose ses recherches expérimentales sur le phénomène de Zeeman, et l'interprétation cinématique qu'il a donnée des faits observés; nos lecteurs connaissent ce travail par un mémoire de l'auteur publié ici-même.

M. BROCA a cherché à observer *les changements de période subis par un rayon polarisé circulairement qui se propage suivant les lignes de force dans un champ magnétique.*

La théorie de la polarisation rotatoire magnétique de Maxwell, dans laquelle on considère le magnétisme comme un phénomène essentiellement rotatoire, conduit à admettre que, par suite d'une réaction de ce mouvement rotatoire sur le mouvement lumineux, la période de rotation d'un rayon circulaire doit être, suivant le sens, augmentée ou retardée. Des expériences exécutées par

M. Tait sont restées sans résultat; M. Broca les a reprises sous diverses formes.

En opérant sur la liqueur de Thoulet (iodure de mercure dissous dans une solution aqueuse saturée d'iodure de potassium), avec un réseau de Rowland de 6 mètres de rayon, qui séparait les raies D de façon qu'on pût apprécier le $\frac{1}{200}$ de leur distance, on n'a constaté aucune variation de la longueur d'onde, la rotation du plan de polarisation atteignant 7 ou 8 degrés.

On peut rendre la méthode plus sensible en remarquant que d'après la formule

$$\sin \alpha + \sin \alpha' = m \frac{\lambda}{2},$$

dans laquelle α désigne l'angle d'incidence et α' l'angle de diffraction, $\frac{d\alpha'}{d\alpha}$ devient infini, quand $\cos \alpha'$ est nul; pratiquement, on a pu obtenir une dispersion très grande en observant, avec une lunette astronomique, la raie D dans le cinquième spectre de diffraction; une seule des composantes apparaît alors dans la lunette. On n'a pu constater aucun déplacement; la théorie indiquerait d'ailleurs une variation relative de 10^{-6} sur la période.

Enfin M. Broca s'est adressé au fer transparent. Une lame de verre platiné, qui sert d'électrode dans un bain d'oxalate double ferropotassique, peut donner, dans des conditions bien déterminées de concentration et de densité du courant, un dépôt de fer métallique transparent. Il faut avoir soin d'opérer sur un sel qu'on maintient au minimum d'oxydation en y faisant passer un courant amené par une électrode de fer, comme l'a indiqué M. Gélis. Les lames obtenues ont, d'après Kundt, une épaisseur de $0{,}01\ \mu$, soit $\frac{1}{30}$ de la longueur d'onde employée, et font tourner le plan de polarisation de $\frac{1}{2}$ degré, soit 30 000 fois plus que l'eau sous la même épaisseur; la théorie indiquerait que la raie D devrait passer dans la région du triplet B du magnésium; l'expérience a montré que le déplacement, s'il existe, est certainement inférieur à $\frac{1}{4000}$ de la valeur calculée. Il reste donc bien établi que, conformément à la conclusion de M. Cornu, une bande monochromatique conserve toujours sa période, indépendamment de tous les accidents qu'elle subit, et que les variations ne peuvent prendre naissance que si l'on agit, comme dans l'expérience de Zeeman, sur la source même du mouvement lumineux.

M. Ducretet présente une *bobine* cloisonnée immergée dans un mélange de paraffine et de résine, avec *interrupteur de Foucault*, actionné par un petit moteur indépendant; le godet à mercure est de petite section et l'alcool est en grande quantité. C. R.

Sur la déviation électrostatique des rayons cathodiques;

Par Quirino Majorana [1].

Crookes avait reconnu que le trajet d'un faisceau de rayons cathodiques est modifié par la présence dans le tube d'un autre faisceau émanant d'une deuxième cathode. Il avait cru prouver par cela la répulsion de deux rayons cathodiques parallèles, ce qui eût été une confirmation de sa théorie de la matière radiante.

Mais Wiedemann et Ebert [2], interceptant par un écran le deuxième faisceau au voisinage de la cathode, reconnurent que l'action sur le premier faisceau reste sensiblement la même. La déviation est donc due aux charges électrostatiques de la deuxième cathode, et il est naturel de penser qu'une anode aurait une action de sens contraire. Ce dernier fait n'a pas encore été vérifié, si ce n'est par Jaumann, mais seulement dans le cas de décharges assez faibles pour que la fluorescence fût à peine visible dans l'obscurité.

Les expériences rapportées ici ont pour but de montrer nettement l'action répulsive exercée par une cathode et de prouver que les rayons cathodiques dans les conditions

(1) *Rendiconti della R. Accademia dei Lincei*, t. VI, 1er semestre, p. 183, 7 mars 1897.

(2) *Wied. Ann.*, t. XXVI, p. 158, 1892; t. VI.

ordinaires de décharge peuvent subir des déviations sensibles par l'influence d'une anode.

L'appareil employé (fig. 1) est un petit

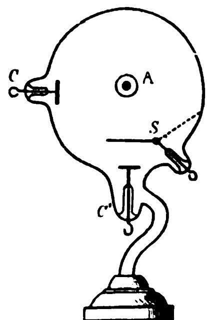


Fig. 1.

ballon muni de deux cathodes C et C' envoyant des rayons cathodiques dans des directions normales, et d'une anode constituée par un fil A presque de la longueur du diamètre du ballon et perpendiculaire aux deux faisceaux de rayons cathodiques. Lorsqu'une seule des deux cathodes fonctionne, l'ombre du fil A se dessine sur la paroi diamétralement opposée à la cathode suivant un arc de cercle de 180° environ. Si les deux cathodes fonctionnent, on voit deux arcs de cercle situés dans des plans perpendiculaires, mais moins nets que dans le premier cas. Un écran à charnière S placé au-dessus de C' permet, quand il est abaissé horizontalement, d'intercepter les rayons qui en émanent.

C fonctionnant seulement comme cathode et l'écran étant relevé, on note la position de l'ombre, puis on réunit C et C' par un conducteur, l'ombre donnée par C est relevée un peu et cette déviation ne change pas lorsqu'on abaisse l'écran S.

D'après les idées de Jaumann, les rayons cathodiques suivent les lignes de force, celles-ci sont modifiées par la présence de la seconde cathode, donc le trajet des rayons est aussi modifié. Mais la répulsion se met nettement en évidence de la façon suivante : on prend C' ou S comme anode; l'ombre de A, qui a une certaine largeur lorsque A est neutre, devient si l'on réunit A à la cathode C vingt ou trente fois plus large.

Si la raréfaction est assez faible pour que les houppes positives soient encore visibles, l'élargissement est bien moins notable. L'interposition d'une résistance ou d'une distance explosive entre A et le pôle négatif de la bobine diminue aussi l'élargissement. Enfin, si on met simplement A en communication avec le sol ou avec une capacité isolée, on obtient encore un élargissement mais plus faible que dans les conditions primitives.

Il y a lieu de penser que si l'on relie le fil A avec l'anode il aura une action de sens contraire, c'est-à-dire produira une attraction des rayons cathodiques. L'expérience montre, en effet, un rétrécissement de l'ombre, et les phénomènes analogues aux précédents ont encore lieu si l'on modifie les conditions de l'expérience.

On peut représenter schématiquement ces phénomènes. Dans la figure 2, *mn* est l'ombre portée par C lorsque A est neutre. Si A est relié à C les rayons s'écartent, se courbent, et l'ombre s'élargit suivant MN. Si A est relié à l'anode (fig. 3), les rayons se courbent

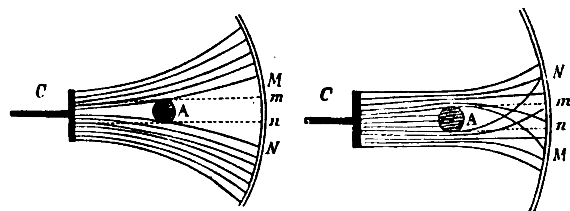


Fig. 2 et 3.

derrière le fil A et l'ombre diminue; il peut même arriver que les rayons s'entre-croisent; ce qui donne lieu sur la paroi anticathodique à une zone MN plus lumineuse que le reste.

Si les rayons exercent une répulsion mutuelle comme l'a annoncé Crookes, cette répulsion est incomparablement plus faible que l'action d'une deuxième cathode ou même d'une anode.

Les déplacements des rayons cathodiques dépendent aussi de la pression. On le montre de la manière suivante : deux fils A et B

(fig. 4) sont frappés par les rayons émanés de C, leurs ombres *a* et *b* sont égales. Si on provoque l'élargissement de *a* en touchant A

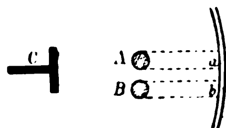


Fig. 4.

avec le doigt (la réunion de A à la cathode produirait une action trop violente), on constate que *b* s'élargit si la raréfraction est faible, tandis qu'il se rétrécit si la raréfaction est suffisamment poussée. Les phénomènes inverses ont lieu si on produit le rétrécissement de *a* (dans ce cas, on peut relier A à l'anode).

En résumé, les phénomènes précédents peuvent avoir leur intensité ou même leur sens changés par la pression, mais ils sont sensiblement indépendants de l'intensité de la décharge; tandis que les phénomènes analogues étudiés par Jaumann se rapportaient seulement au cas de décharges de très faible intensité [1].

Sur les charges électrostatiques produites par les rayons cathodiques;

Par Quirino Majorana [2].

I. « Une des propriétés les plus caractéristiques des rayons cathodiques est celle d'engendrer des charges électriques sur les corps qu'ils rencontrent. En effet, tous ceux qui ont expérimenté avec des tubes de Crookes savent que la paroi anticathodique de ces tubes est fortement électrisée quand ils fonctionnent. Il suffit d'approcher un doigt de cette paroi pour en tirer des étincelles longues de plusieurs millimètres. La longueur de ces étincelles décroît considérablement et peut même s'annuler si on vient à dévier les rayons cathodiques au moyen d'un aimant. »

L'auteur se sert des charges électriques, ainsi liées aux rayons cathodiques, pour étudier ceux-ci. Le tube employé (fig. 1) est long

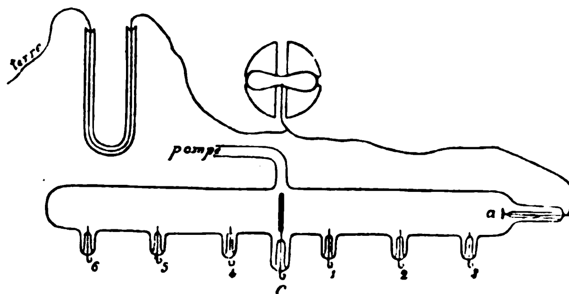


Fig. 1.

de 36 centimètres environ; la cathode C, un disque d'aluminium d'un diamètre peu inférieur à celui du tube, est au milieu, et de part et d'autre sont disposées deux séries d'anodes filiformes 1.2...6. La paroi anticathodique étudiée est à l'une des extrémités du tube, c'est un petit disque d'aluminium *a*,

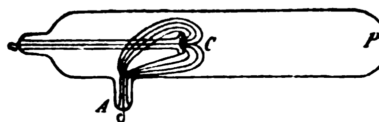


Fig. 2.

en communication avec le sol par l'intermédiaire d'un tube capillaire rempli d'alcool absolu et avec l'aiguille d'un électromètre de Mascart. Les deux paires de quadrants de l'électromètre sont liées aux pôles d'une pile Warren de La Rue de vingt éléments.

Si l'on fait traverser le tube par la décharge périodique d'une bobine d'induction, l'aiguille de l'électromètre éprouve une déviation constante due à une *charge positive dans les conditions de l'expérience*. Cela est vrai, quel que soit celui des fils 1.2....6 choisi comme anode. Quand on arrête le fonctionnement de la bobine, l'aiguille revient au zéro.

La valeur absolue de la charge dépendant des dimensions de l'appareil, de la bobine,

---

[1] Des expériences semblables ont été faites depuis la publication de ce mémoire par M. J. Perrin, en employant une méthode statique. Voir *Thèse de doctorat*, p. 11.

[2] *Rendiconti della R. Accademia dei Lincei*, vol. VI, p. 16-22, 4 juillet 1897.

du nombre des interruptions, etc., sa détermination ne présente pas d'intérêt.

II. L'auteur étudie d'abord l'influence de la raréfaction du gaz sur la grandeur de la charge. Voici les résultats obtenus, la dernière colonne du tableau correspond au cas où les rayons cathodiques sont déviés par un puissant électro-aimant qui agit entre C et *a* :

Pression en mm de mercure.	Nombre de division de l'échelle sans aimant.	correspondant à la déviation de l'aiguille avec aimant.
23	0	0
1,4	3	3
0,33	28	6
0,082	93	15
0,020	144	18
0,0049	185	23
0,0011	197	25
0,00029	en dehors de l'échelle	29

Ainsi la charge croit rapidement quand la pression diminue, c'est-à-dire quand la production des rayons cathodiques augmente.

La dernière colonne confirme encore le fait que la charge est due aux rayons cathodiques puisqu'en les écartant la charge diminue et peut même s'abaisser au 1/8 de sa valeur.

III. Il est généralement admis que la position de l'anode n'a aucune influence sur la production des rayons cathodiques, soit en direction, soit en intensité. M. Majorana a montré dans la note précédente que la direction des rayons est troublée par la position de l'anode, il montre maintenant que leur intensité est aussi modifiée.

A cet effet, il se place dans les meilleures conditions pour la production des rayons cathodiques et emploie une pression fixe de $\frac{1}{1000}$ de mm de mercure environ. Avec les 6 fils pris successivement comme anode, les déviations de l'aiguille sont :

Anode . . .	1	2	3	4	5	6
Déviation. .	123	116	111	18	17	16

Ainsi, d'un même côté de la cathode, la charge est d'autant plus forte que l'anode est plus voisine de la cathode et elle présente une différence très nette suivant que l'anode est d'un côté ou de l'autre de la cathode.

Dans un tube de décharge, il y a deux phénomènes distincts : le passage de l'électricité à travers la masse gazeuse suivant le tube de force qui unit les électrodes, et l'émanation de rayons cathodiques pour une pression suffisamment faible. D'après Hertz, cette émanation est indépendante du flux d'électricité ; ceci est inexact. En effet, l'anode étant l'un des fils 4, 5 ou 6, il y a un plus grand flux sur la face gauche de la cathode que sur l'autre face, parce que cette cathode, d'un diamètre peu différent de celui du tube, partage la masse gazeuse en deux parties bien distinctes. Les expériences rapportées montrent donc qu'en diminuant le flux qui vient frapper une région de la cathode on diminue également l'intensité des rayons cathodiques émanés de cette région. Ce fait est encore vérifié au moyen d'un tube dans lequel le disque C diffère très peu de la section du tube ; l'anode étant à gauche, la fluorescence est presque invisible à droite et la charge de *a* est négligeable.

Par suite, avec le tube représenté figure 2, les rayons émanent de C vers P si le flux d'électricité rencontre le côté droit de la cathode. Pour obtenir ce résultat, il faut que le diamètre de C soit notablement plus petit que celui du tube, et l'on évitera la production de rayons à gauche en recouvrant la face correspondante de C par une substance isolante (précaution prise par Lenard, quoique cette explication ne fût pas encore donnée). On peut aussi ne pas protéger le côté gauche de C en rendant son diamètre assez petit, parce que les faisceaux de rayons émanés de la face gauche de la câthode et de son support se contrarient et nuisent mutuellement à leur production.

En résumé, la position de l'anode influe sur la production des rayons cathodiques ; et pour que ceux-ci émanent d'une région de la cathode, il faut que sous l'action de la décharge le flux d'électricité vienne rencontrer cette région.

Sur la vitesse des rayons cathodiques;

Par Quiriwo Majorana [1].

Deux hypothèses bien distinctes ont été faites sur la nature des rayons cathodiques, et aucune d'elles n'est encore définitivement abandonnée. Dans l'état actuel de la question, la détermination de la vitesse des rayons cathodiques peut apporter quelque éclaircissement. Si les rayons cathodiques sont des vibrations éthérées, il faut s'attendre à ce que leur vitesse ait une valeur comparable à celle de la vitesse de la lumière; l'esprit répugnerait à admettre que des particules matérielles puissent être animées d'une telle vitesse.

Les premières recherches dans ce sens sont dues à J.-J. Thomson [2], mais ce savant s'est servi des phénomènes de fluorescence produits par les rayons cathodiques; or la fluorescence est relativement lente à se produire, et cela peut induire en erreur si l'on veut en conclure l'intervalle de temps des manifestations instantanées qui lui ont donné naissance. Depuis, des Coudres et Wiechert ont obtenu des résultats peu concordants.

L'auteur utilise les charges électrostatiques développées par les rayons cathodiques sur les corps qu'il rencontrent (charges étudiées dans le mémoire précédent). Voici le principe

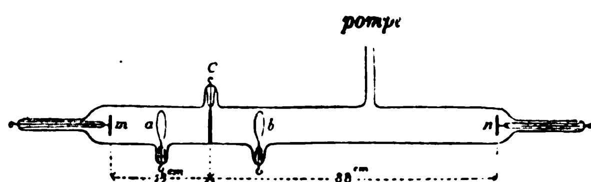


Fig. 1.

de la méthode : un tube à décharge (fig. 1) possède à chacune de ses extrémités un petit disque métallique; ces disques *m* et *n* sont distants de 51 cm, la cathode C n'est pas au centre, elle est à 13 cm de *m;* de chaque côté et à égale distance sont deux anodes en forme d'anneaux. D'après le mémoire précédent, cette forme facilite la production des charges électriques sur les parois anticathodiques *m* et *n*.

Pour charger *m* et *n* les rayons doivent parcourir deux chemins différents C*m* et C*n*, et puisque la vitesse de ces rayons ne peut être infinie, les instants où *m* et *n* seront chargés, c'est-à-dire où on pourra en tirer des étincelles en approchant des conducteurs mis au sol, seront différents aussi. L'intervalle de temps qui sépare ces deux instants est égal à la différence des temps que les rayons cathodiques mettent à parcourir C*m* et C*n*.

Voici le dispositif expérimental auquel s'est arrêté l'auteur après de nombreuses tentatives ayant pour but de simplifier les conditions des mesures.

Une machine de Holtz à 4 plateaux H (fig. 2),

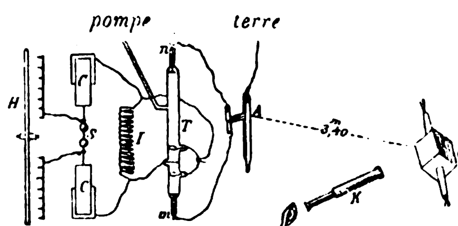


Fig. 2.

avec ses 2 condensateurs habituels C, donne en S 4 à 5 étincelles par seconde, les armatures externes des condensateurs se déchargent dans une résistance inductive I et dans le tube T déjà décrit. La résistance I a pour but d'empêcher que la décharge soit longue et de faible intensité. Les disques *m* et *n* sont reliés à deux électrodes *m'* et *n'* placées dans deux tubes capillaires *c* et *c'* qui débouchent dans un tube plus grand replié en forme d'U (fig. 3). Au sommet de ce tube, à égale distance de *m'* et *n'*, est un fil de platine en communication avec la terre.

La décharge des disques *m* et *n* sur ce dernier fil produit des étincelles dans les tubes capillaires *c* et *c'*, et on examine ces étincelles suivant l'axe des tubes au moyen d'un miroir tournant et d'un viseur.

(1) *Rendiconti della R. Accademia dei Lincei*, vol. VI, p. 66-73, 1er août 1897.

(2) *Philosophical Magazine*, t. XXXVII, p. 358, 1894. *L'Éclairage Électrique*, t. I, p. 441, 17 nov. 1894.

Les étincelles produisent deux points lumineux et pour une vitesse de 150 tours environ par seconde l'image donnée par *n* est en

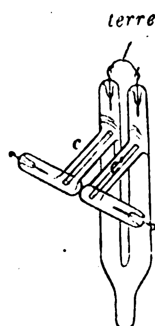


Fig. 3.

retard sur l'autre d'une longueur double environ du diamètre commun des points lumineux.

Il y a donc retard de la charge en *n* et on peut calculer d'une manière assez approchée sa valeur au moyen de la distance de l'objet au miroir et de l'angle dont celui-ci a tourné.

La vitesse ainsi calculée est de 600 km par seconde, valeur notablement plus forte que celle de J.-J. Thomson (190 km). Cette différence peut s'expliquer ainsi : les deux images données par le viseur sont souvent accompagnées d'une queue lumineuse de 6 à 7 mm et celle qui provient de *m* est la plus courte, elle peut même manquer tout à fait. Si on prend alors pour point *n* l'extrémité de la queue, on obtient un nombre encore plus faible que celui de Thomson, 150 km.

On peut en conclure que les rayons cathodiques obtenus dans les tubes à décharge sont un mélange de rayons de vitesse différente, cette vitesse variant de 100 à 600 km par seconde.

Si on dévie avec un aimant faible les rayons qui frappent l'anticathode *n*, on observe que la queue lumineuse correspondante disparaît, confirmant ainsi ce fait que les rayons les plus faciles à dévier sont ceux qui se propagent avec la moindre vitesse.

CHRONIQUE

Les alliages d'aluminium dans la construction des machines. — D'après *Aluminium World*, on prépare depuis peu, aux États-Unis, des alliages de cuivre et d'aluminium obtenus directement avec des minerais de ces deux métaux au four de réduction, et ces alliages peuvent remplacer le bronze avec avantage. Leur poids spécifique est compris entre 3 et 3,15, alors que celui du bronze est de 8,20 à 8,40. Leur composition est de 60 à 65 pour 100 d'aluminium pur, le reste comprenant du zinc, du cuivre, du nickel, du manganèse, du fer, et, dans certains cas, du titane, du chrome ou du tungstène, selon le but qu'on se propose. Ces alliages n'ont pas plus de retrait à la fonte que le bronze et on peut les fondre dans des creusets de plombagine. L'usage commence à s'en répandre dans les grandes fonderies de cuivre des États-Unis. Laminés en feuilles, ils donnent une résistance à la rupture de 32 à 35 kilogrammes par millimètre carré. En objets coulés, la résistance est encore de 12 1/2 à 21 kgr avec un coefficient d'élasticité de 25 à 35 p. 100. Certains alliages spéciaux contenant jusqu'à 70 p. 100 d'aluminium, préparés par la Pittsburg Reduction Company, ont une résistance à la rupture garantie de 17,5 à 25 kgr par millimètre carré avec un coefficient d'élasticité dépassant 40 p. 100. A volume égal, ces alliages peuvent être vendus un peu meilleur marché que le bronze. Ainsi le kilogramme coûte de 20 à 27 cents la livre anglaise, ce qui donne, en mesures françaises, de 2,25 fr à 2,95 fr le kgr, suivant la qualité. On sait que les bronzes spéciaux, connus sous le nom de bronze phosphoreux, bronze d'aluminium, bronze au manganèse, etc., coûtent plus cher de fabrication que les bronzes ordinaires. Ils sont donc d'un prix plus élevé que les alliages dont nous parlons. Ces derniers ne coûtent pas plus cher que les plus basses classes de bronze dans lesquelles on introduit jusqu'à 10 p. 100 de zinc et dont la résistance est peu considérable.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XIII. Samedi 20 Novembre 1897 4e Année. — N° 47.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DÉCHARGES ÉLECTRIQUES DANS LES GAZ RARÉFIÉS (1)

ÉLECTROLUMINESCENCE DES GAZ

Les gaz raréfiés laissent passer les décharges électriques, et sous l'influence de ces décharges deviennent lumineux, quoique leur température reste relativement très basse. Il résulte en effet des mesures de Eilhardt Wiedemann, confirmées par celles de Hasselberg, et tout dernièrement par celles de M. Warburg, que les gaz traversés par la décharge deviennent lumineux à une température qui certainement n'atteint pas 100°. Or cette température est bien inférieure à celle qu'il faut atteindre pour que les gaz deviennent lumineux sous l'action de la chaleur seule. Il faut en conclure que les gaz traversés par la décharge sont le siège de phénomènes particuliers, auxquels nous donnerons le nom proposé par E. Wiedemann d'*électroluminescence*.

Il n'est pas impossible de produire ces phénomènes à l'aide d'appareils propres à fournir des courants continus, comme par exemple une batterie de piles ou d'accumulateurs. Néanmoins l'expérience est, dans ces conditions, assez difficile, et les circonstances en sont encore très peu connues. Il est préférable de se servir des courants oscillatoires produits par une bobine d'induction, ou encore des oscillations plus rapides qui prennent naissance dans l'appareil de Lecher ou dans l'excitateur de Hertz. Cette dernière disposition présente l'avantage que la période des oscillations est bien définie et peut être calculée d'après les dimensions du système, ce qui n'est pas possible avec la bobine ; de plus les phénomènes y gagnent une grande régularité : c'est spécialement des phénomènes provoqués par ces oscillations que nous nous occuperons.

La forme des tubes n'a pas d'influence essentielle sur les lois mêmes de la décharge, sinon sur les apparences. Sauf indication contraire, les phénomènes décrits dans ce qui va suivre se rapportent aux tubes de forme simple, sphérique ou cylindrique. Il faut distinguer cependant les tubes qui sont munis

(1) Cet article écrit sur l'invitation du professeur Eilhardt Wiedemann, d'Erlangen, dont les travaux sur ce sujet sont classiques, a été revu par lui.

Outre les mémoires cités pour les détails dans le courant de l'article, les mémoires d'ensemble sont les suivants :

1° Sur les décharges électriques. E. WIEDEMANN et EBERT, *Sitzungber. der phys. med. Societat zu Erlangen*, déc. 1891 ; — *Wied Ann.*, XLVIII, p. 549 ; XLIX, p. 1 et 32 ; L, p. 1 et 221. — E. WIEDEMANN et SCHMIDT, *Sitzungber. Erlangen*, mars 1897.

2° Sur les observations spectrales et la luminescence. E. WIEDEMANN et SCHMIDT, *Wied. Ann.*, LIV, p. 604 ; LVI, p. 18 et 201 ; LVII, p. 447.

d'électrodes et ceux qui ne portent pas d'électrodes.

A. *Tubes munis d'électrodes.* — Un tube muni d'électrodes peut être assimilé à un condensateur dans lequel les armatures sont constituées par les électrodes et le diélectrique par le gaz renfermé dans le tube. Traversé par la décharge, ce diélectrique acquiert la propriété soit de conduire l'électricité, soit de transformer l'énergie électrique du champ en énergie calorifique, lumineuse, actinique, etc. Quant aux parois du tube, elles jouent à la fois le rôle d'armatures et celui de diélectrique ; d'armatures, en tant qu'elles se chargent d'électricité libre, de diélectrique en tant qu'elles contribuent à déterminer la capacité du tube. Cette assimilation d'un tube à un condensateur n'est d'ailleurs en aucune façon arbitraire, mais seulement la traduction d'un fait expérimental facile à vérifier. Ainsi les parois du tube se chargent d'électricité libre, car en approchant la main on sent l'électricité s'échapper, et si l'afflux d'électricité est suffisant on obtient des étincelles. Lorsque le tube a fonctionné quelque temps et qu'on l'isole du circuit, on provoque des décharges analogues à celle d'une bouteille de Leyde, quand on touche l'une des armatures. Si l'une des électrodes est terminée par une plaque et l'autre par une pointe et que la plaque serve de cathode, à chaque décharge apparaissent les phénomènes caractéristiques de la cathode.

La capacité d'un tube de moyennes dimensions est du même ordre de grandeur que la capacité d'une petite bouteille de Leyde. On peut d'ailleurs mesurer cette capacité d'une manière approximative par l'expérience suivante. L'un des pôles d'une machine à influence est relié au sol ; l'autre communique avec une électrode du tube : la seconde électrode est aussi reliée au sol par l'intermédiaire d'un galvanomètre. L'indication du galvanomètre fait connaître la quantité totale d'électricité qui a passé ; d'autre part, on détermine le nombre des décharges en les observant dans un miroir tournant simultanément avec les éclairs produits par un phosphoroscope. En divisant la quantité totale d'électricité écoulée par le nombre de décharges, on obtient la quantité ε afférente à chaque décharge. Pour déterminer la différence de potentiel, on met en dérivation sur le tube un micromètre à étincelles, dont on règle l'écartement jusqu'à ce qu'une étincelle éclate : les tables donnent la différence de potentiel V correspondant à cette distance explosive. Le quotient $\frac{\varepsilon}{V}$ représente la capacité du tube. On trouve ainsi des nombres de l'ordre de grandeur de 10^{-3} microfarads ou de 10^{-18} unités électromagnétiques. Dans cette détermination on ne tient pas compte de la capacité de la machine, égale à la moitié environ du nombre calculé : mais comme il s'agit ici seulement de l'ordre de grandeur, on peut conserver le nombre indiqué.

De ces valeurs de la capacité on peut conclure immédiatement que les décharges dans le tube doivent se faire sous la forme oscillante. En effet, d'après l'équation de Thomson, cela a lieu quand la résistance R du circuit, le coefficient d'induction propre L et la capacité C satisfont à la condition :

$$R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

Or la résistance d'un tube raréfié est très petite, car la chaleur dégagée par le courant est petite ; le coefficient d'induction propre du circuit dans lequel est inséré le tube est, dans les conditions expérimentales ordinaires compris entre 10^2 et 10^6 cm : la résistance est certainement inférieure à $2\sqrt{10^2 : 10^{-18}}$ ou $2 . 10^{10}$.

Les mêmes données permettent de calculer la durée des oscillations : elle est comprise entre 10^{-6} et 10^{-8} seconde. Cette dernière durée est du même ordre de grandeur que celle des oscillations hertziennes, tout au moins des oscillations avec lesquelles Hertz a effectué ses premières expériences.

La vitesse avec laquelle la décharge se pro-

page dans les tubes est comparable à la vitesse de la propagation de la lumière.

D'après la longueur d'onde des oscillations observée par Wiedemann et Ebert, cette vitesse serait en nombres ronds $3,10^{10}$ cm : sec pour des oscillations dont la période est 10^{-8} sec, tandis que J.-J. Thomson a trouvé par expérience $1,6\ 10^{10}$ cm : sec.

Il est avantageux de substituer à la bobine d'induction reliée directement au tube, un réseau de Lecher.

Je rappelle brièvement en quoi consiste ce réseau en ayant en vue la disposition adoptée par Wiedemann et Ebert, qui ont effectué sur ce sujet une longue série d'expériences systématiques.

Deux plaques métalliques P_1, P_2 disposées

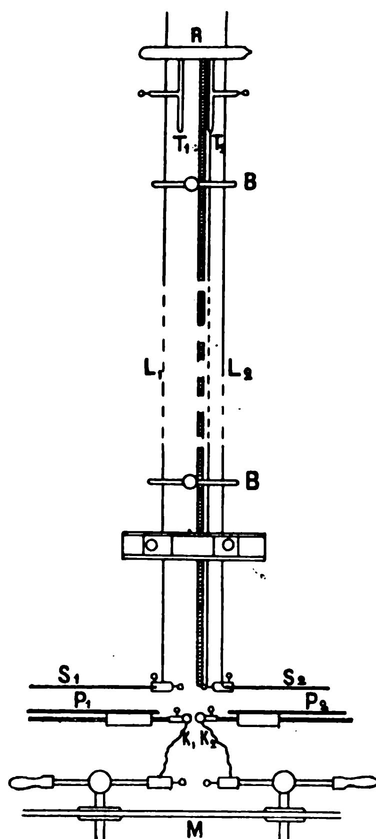


Fig. 1.

dans un même plan vertical (fig. 1) portent latéralement deux boules K_1, K_2 ; à ces deux boules aboutissent des fils qui les relient aux pôles d'une machine à influence (cette machine employée par Wiedemann et Ebert était une machine à vingt plateaux de Töpler; mais une machine de Holtz à deux plateaux mobiles peut à la rigueur suffire). Les pôles sont assez écartés pour que l'étincelle éclate, non entre eux, mais entre les boules K_1 et K_2. Parallèlement aux plaques P, en arrière, sont disposées deux autres plaques, de même grandeur S_1 et S_2, desquelles partent deux fils, qui courent parallèlement l'un à l'autre et se terminent par deux plaques T_1 et T_2 parallèles entre elles et qui constituent un condensateur. Le tout forme, comme il est aisé de s'en rendre compte, un ensemble parfaitement symétrique, ce qui est un des principaux avantages du système de Lecher.

Au moment où l'étincelle éclate, le condensateur se décharge par oscillations, et ces oscillations en provoquent d'autres plus rapides dans les plaques et dans les fils.

En reliant les électrodes d'un tube raréfié aux extrémités des fils, on obtient la luminescence du tube : mais l'aspect des phénomènes varie avec l'agencement du réseau.

Par exemple, en reliant métalliquement les plaques S_1 et P_1 entre elles, les plaques S_2 et P_2 entre elles, on réalise un circuit fermé, comprenant la machine à influence, les deux fils de Lecher et le tube raréfié. Dans ces conditions on observe, comme pour les courants directs de la machine, à la cathode la *région obscure*, une *lueur* et la *région de séparation* entre la lumière négative et la lumière positive, celle-ci formée de strates. Lorsqu'on intervertit les pôles du tube par rapport à ceux de la machine, les phénomènes s'échangent aux deux électrodes.

Il en est tout autrement si on utilise le réseau de Lecher, comme on le fait d'ordinaire pour produire des oscillations, c'est-à-dire en mettant un *pont* dans la région du nœud de vibration et en laissant les étincelles éclater entre les boules K_1 et K_2 du condensateur primaire. Dans ce cas, les phénomènes sont tout à fait *symétriques* et ne varient pas quand on intervertit les liaisons des pôles.

Mais pas plus à l'une des électrodes qu'à l'autre, on n'aperçoit trace de lumière positive: *les deux électrodes se comportent comme des cathodes;* à chacune d'elles apparaissent la région obscure, la lueur négative et les rayons cathodiques. Aux lueurs succèdent deux autres régions obscures, séparées par une lumière rougeâtre sans stratification : la nuance de cette lumière est analogue à celle de la lumière positive dans les expériences précédentes. Les électrodes doivent être, bien entendu, symétriques; le tube employé par Wiedemann et Ebert était un tube cylindrique fermé à ses extrémités par des plaques métalliques mastiquées sur ses bords et qui servaient d'électrodes.

Il résulte de ce qui précède que des oscillations rapides, *faiblement amorties*, comme celles qui prennent naissance dans un réseau de Lecher, provoquent dans les tubes raréfiés un phénomène lumineux parfaitement symétrique, dans lequel les deux plaques terminales montrent les phénomènes caractéristiques des cathodes et ceux-là seulement.

Si au contraire les fils de Lecher ne portent pas de pont, les oscillations s'amortissent rapidement et le phénomène cesse d'être symétrique.

Pour que les tubes soient aussi sensibles que possible, il est nécessaire qu'ils soient accordés avec les oscillations, c'est-à-dire que leur période de vibration soit égale ou tout au moins voisine de celle du réseau. Par conséquent leur capacité doit être voisine d'une valeur déterminée : cette capacité dépend naturellement de la grandeur du tube, de la matière dont il est formé et de la pression du gaz qu'il renferme. Il est à remarquer que plus la pression est faible, plus il est facile d'exciter le tube par des oscillations dont la période est voisine de la sienne. Cette plus grande excitabilité provient apparemment de ce que l'électricité passe plus facilement dans le gaz plus raréfié, et aussi de ce que la charge prise par les parois est d'autant plus forte que le gaz est plus raréfié; la capacité dépend alors des oscillations elles-mêmes et le tube acquiert la propriété d'exécuter des vibrations forcées. La forme des électrodes a aussi son importance : il est connu depuis longtemps que la décharge passe plus facilement d'une pointe (anode) à une plaque (cathode) qu'elle ne suit le chemin inverse : cette circonstance trouve son application dans la construction des *soupapes* électriques.

Ces soupapes électriques servent à séparer à volonté les phénomènes relatifs à la cathode et les phénomènes relatifs à l'anode : c'est le cas d'un tube qui porte comme électrodes une pointe et une plaque. Ce tube, traversé par des oscillations dont la période correspond à la sienne, montre le phénomène fondamental de la décharge dans les gaz. A l'anode, c'est-à-dire à la pointe, se montre un faisceau de lumière rose qui se propage bien délimité suivant l'axe du tube, jusqu'au 1/3 environ de la distance qui sépare les électrodes, et ensuite s'étale en formant une gaîne lumineuse qui s'ouvre de plus en plus en forme d'entonnoir et recouvre à quelques millimètres de distance la paroi sur le second tiers de la longueur du tube. La gaîne se contracte ensuite et tend à se rapprocher de la cathode, mais seulement sur le bord de cette dernière. A sa rencontre, vient des bords de la cathode une lueur bleue, qui pénètre dans l'intérieur de la gaîne, mais reste séparée d'elle par un intervalle obscur.

D'après ces apparences :

1° La réunion des électricités a lieu dans l'espace obscur.

2° Les oscillations se portent vers le bord des plaques et se distribuent comme le ferait une charge d'électricité libre.

3° Le milieu de la plaque reste obscur.

Quand on met en communication avec le sol un point de la paroi du tube, ce point constitue un autre chemin de sortie pour la décharge et devient une cathode secondaire et la distribution de la décharge se modifie comme le ferait une distribution d'électricité libre.

Lorsque les tubes sont excités, non plus par des oscillations préexistantes, mais direc-

tement par une grande batterie de piles, une machine à influence ou une bobine d'induction, les phénomènes sont beaucoup plus compliqués. Le tube se divise en régions qui répondent principalement à des vibrations harmoniques, comme le fait un tuyau sonore; la période de ces vibrations dépend de la capacité des régions correspondantes. Dans ces régions se forment des ondes stationnaires, d'où résulte l'apparition des stratifications qui sont plus serrées dans les parties étroites du tube dont la capacité est plus petite que dans les parties larges où la capacité est plus grande.

Lorsqu'on laisse dans le circuit un intervalle explosif, la décharge est plus sensible à l'approche des conducteurs : cette sensibilité diminue dans les régions voisines de la cathode, quand on met un point du tube en communication avec le sol. La sensibilité est particulièrement grande pour une certaine longueur des étincelles, ce qui s'explique par ce que les vibrations correspondent alors aux vibrations du tube qui sont les plus instables, comme la vibration fondamentale elle-même.

Dans un tube relativement large, la décharge correspond à des vibrations d'autant plus lentes que l'afflux d'électricité est plus faible, comme le prouve l'expérience suivante. Un tube large de 3,8 cm, long de 36 cm, porte deux électrodes planes, qui sont reliées aux pôles de la machine de Töpler : la machine tourne d'abord lentement et la lumière positive remplit presque tout le tube, jusqu'au voisinage de la cathode, qui se recouvre d'une lumière bleuâtre. Si on augmente la vitesse de rotation, les diverses parties de la décharge prennent autour de la cathode leur aspect normal, la lumière positive se contracte, augmente d'éclat et montre bientôt des stratifications nettes. Par conséquent, lorsque l'afflux d'électricité augmente, des vibrations de période plus courte prennent naissance.

Lorsqu'on intercale dans le circuit un chemin d'étincelles, la différence de potentiel entre les électrodes et aussi la chute de potentiel entre deux points quelconques du tube varient ; on peut s'en rendre compte, au moins qualitativement, par l'emploi des sondes, bien que ce mode opératoire ne soit pas à l'abri de toute critique. En effet, si les deux sondes communiquent avec les pôles d'un micromètre à étincelles, assez rapprochés pour qu'aucune décharge ne passe de l'un à l'autre, cette décharge se produit dès qu'on intercale dans le circuit principal un intervalle explosif.

En ce qui concerne le potentiel de décharge, il n'y a pas proprement lieu d'en parler, car la production de la décharge dépend beaucoup plus des vibrations qui peuvent prendre naissance : la différence de potentiel nécessaire varie avec la capacité, par exemple quand on relie un point du tube au sol, ou seulement quand on approche un conducteur.

Lorsque le tube est excité par une bobine d'induction, les conditions expérimentales sont beaucoup plus complexes, à cause de la construction même de la bobine ; cependant, les stratifications apparaissent : il faut en conclure que, malgré tout, les oscillations jouent, dans ce cas encore, un rôle prépondérant. Mais il arrive parfois aussi que les stratifications n'apparaissent pas, parce qu'un trop grand nombre d'oscillations se superposent les unes aux autres.

Enfin la décharge d'une pile à travers un gaz raréfié doit être regardée comme la superposition d'un courant continu et d'un certain nombre d'oscillations.

A la cathode principalement, on observe des phénomènes lumineux sur l'étude desquels nous reviendrons dans le troisième paragraphe. Auparavant, nous voulons dire quelques mots des tubes sans électrodes.

B. *Tubes sans électrodes.* — Les tubes sans électrodes sont excités naturellement par des oscillations extérieures, comme celles qui se produisent dans un réseau de Lecher. Les plus sensibles sont les tubes assez larges et pas trop courts; il est, en certains cas, avantageux aussi

de les munir d'armatures intérieures, de préférence en platine; l'argent se détériore trop vite sous l'influence des décharges. Pour obtenir le dépôt de platine, on dissout du chlorure de platine dans l'alcool; on ajoute à cette dissolution un peu d'huile de lavande et on en étend une petite quantité sur la paroi intérieure du tube au voisinage des extrémités et on chauffe ensuite légèrement jusqu'à ce que l'huile de lavande se soit évaporée.

Le tube qu'on veut exciter peut être placé : 1° en dehors des armatures du condensateur qui termine le réseau de Lecher, de manière que son axe soit perpendiculaire à ces armatures; 2° entre ces armatures, de manière que son axe soit parallèle, ou bien perpendiculaire aux armatures.

Un tube qui s'est illuminé une première fois, s'illumine ensuite plus aisément, c'est-à-dire pour une variation de potentiel moindre. Souvent aussi, quand un tube refuse tout d'abord de s'illuminer, il s'illumine brusquement quand on en approche un autre qui, dans les mêmes conditions, est devenu spontanément luminescent.

Comme on le sait, les tubes raréfiés servent d'indicateurs dans l'étude des ondes électriques. Il nous entraînerait trop loin d'entrer dans le détail des rapports entre la luminescence des tubes et les ondes électriques. Nous rappellerons seulement les circonstances qu'il nous sera utile de connaître.

Quand on place sur le réseau de Lecher un *pont*, c'est-à-dire un fil conducteur qui repose transversalement sur les deux fils parallèles, le tube vide cesse en général de s'illuminer. La luminescence ne subsiste que pour certaines positions du pont, correspondant aux nœuds des ondes électriques stationnaires. En réalité, on peut déplacer le pont de part et d'autre du nœud sans que la luminescence disparaisse; mais le tube présente un maximum d'éclat qui, en gros, répond à la position du pont sur le nœud de vibration.

La pression du gaz contenu dans le tube n'a pas d'influence essentielle sur l'allure du phénomène; le seul fait à signaler c'est que plus la pression est faible, plus est grand l'intervalle dans lequel on peut déplacer le pont de part et d'autre du nœud sans que le tube s'éteigne.

Supposons que le pont soit placé à l'endroit d'un nœud, puisque, toutes choses égales d'ailleurs, le tube présente alors le maximum d'éclat. Si on fait varier l'écartement entre les armatures du condensateur terminal, on constate que les phénomènes augmentent d'éclat quand cette distance diminue. La différence de potentiel sous laquelle se produit la décharge primaire n'a que peu d'influence, quoique cependant les phénomènes deviennent moins nets quand on écarte les sphères qui terminent l'excitateur. Toute cause qui augmente la durée de la décharge primaire, ou l'amortissement dans le circuit secondaire agit défavorablement sur la résonance.

Ainsi, la machine à influence est préférable comme source d'électricité, à la bobine d'induction, parce que chaque décharge correspond seulement à la charge accumulée sur les armatures du condensateur et partant, est de plus courte durée; pour le même motif, il est avantageux de faire éclater les étincelles dans un diélectrique autre que l'air : pétrole, huile de paraffine, etc. ; cette disposition présente encore cet autre avantage que les surfaces des pôles conservent plus longtemps leur poli, circonstance qui joue aussi un grand rôle, comme l'ont signalé tous les expérimentateurs. Il est bon aussi que les décharges se succèdent rapidement; il est facile de comprendre que plus cette succession est rapide, plus est grand l'éclat du tube. Souvent, par exemple, on obtiendra un effet plus intense avec des étincelles primaires plus courtes, parce qu'elles éclatent plus souvent et quoique la différence de potentiel mise en jeu soit moindre. Mais si on fait passer la décharge primaire dans un tube à gaz raréfié, toute trace de résonance disparaît.

Signalons enfin la réaction que le circuit secondaire exerce sur le circuit primaire; cette réaction est facile à observer, car dès qu'on place un pont sur des nœuds ou un

des ventres de vibration, le son des étincelles primaires se modifie d'une manière frappante.

Si le système présente plusieurs nœuds, la luminescence du tube est d'autant plus brillante qu'un plus grand nombre de ponts sont placés sur ces nœuds correspondants.

Telles sont les conditions générales dans lesquelles les tubes vides sans électrodes deviennent luminescents; nous allons maintenant décrire les particularités que présente cette luminescence dans quelques cas spéciaux.

I. Vases placés entre les armatures du condensateur

1. Vase sphérique. — Le cas le plus simple est celui d'un tube sphérique, qui ne possède aucun angle ou aucune arête vive susceptible de produire des perturbations.

Dans un vase sphérique placé entre les armatures du condensateur de Lecher, la décharge sous sa forme-type, est symétrique par rapport au plan diamétral, qui est en même temps le plan médian du condensateur (fig. 2).

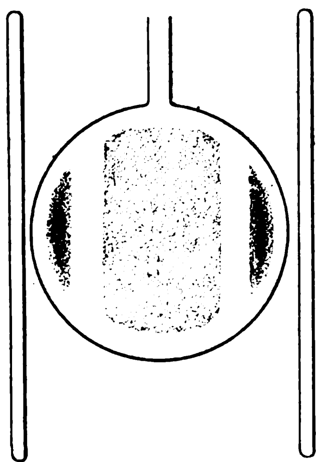


Fig. 2.

Au voisinage des armatures se trouve de chaque côté une couche de lueur (négative) bleue; elle est limitée du côté de la sphère par une calotte dont la surface ne touche pas la paroi, mais en est séparée par un espace obscur. Vers l'intérieur de la sphère, la lueur est limitée par une *région obscure* de séparation, mais la démarcation n'est pas nette. Au contraire, la lumière positive, de couleur rougeâtre, qui remplit la partie centrale de la sphère est nettement délimitée, par des plans parallèles aux armatures du condensateur. Cette lumière positive est plus éloignée de la surface de la sphère dans le plan médian que du côté des armatures, de sorte que l'ensemble présente à peu près la forme d'une portion d'ellipsoïde de révolution allongé.

Cette décharge-type se produit dans le tube sphérique, comme du reste, dans les tubes de toute forme, pour une certaine valeur de la différence de potentiel entre les armatures du condensateur terminal, valeur qui n'est pas très élevée. Si on diminue cette différence de potentiel à partir de la valeur la plus favorable, la lueur négative se rétrécit de plus en plus, la lumière positive rougeâtre s'étend de plus en plus, remplit le vase, sans être nettement délimitée, puis finit par disparaître. En augmentant au contraire cette différence de potentiel, on constate que la lueur négative prend de plus en plus d'importance jusqu'à ce qu'elle ait complètement chassé la lumière positive.

Le phénomène n'est vraiment net que si on a placé un pont sur le nœud principal du réseau de Lecher, quand le système présente un seul nœud ; si le pont est placé autre part, la lumière positive s'étale et remplit le tube quand le pont est assez éloigné du nœud; elle est beaucoup plus faible lorsque les ponts se trouvent sur les nœuds d'un système autre que le système principal.

Lorsqu'on écarte progressivement les armatures du condensateur, la lueur négative devient de plus en plus mince, tandis que la lumière positive s'approche de plus en plus des armatures et à la fin remplit tout le tube; cependant elle n'arrive jamais au contact des parois. Si les armatures sont inégalement écartées de la sphère, les phénomènes sont en général moins nets, et on ne distingue plus les diverses régions de la décharge que

du côté de l'armature la plus rapprochée. Quand une armature est très près de la sphère et l'autre très loin, la lueur négative est très développée du côté de la plaque la plus rapprochée ; de l'autre côté, elle s'avance vers le plan médian de la sphère en refoulant la lumière positive.

Influence de la pression. — L'accroissement de pression provoque l'extension de la lumière positive, tandis que la lueur négative se raccourcit ; la région obscure de séparation s'élargit d'abord lentement, ensuite plus rapidement et ses limites deviennent de plus en plus nettes. Lorsqu'elle a disparu ainsi que la lueur négative, la lumière qui remplit le tube change de teinte et passe du rouge au bleu dans l'air.

Si la pression diminue, la sphère étant très près des deux armatures, la lueur négative s'écarte des parois, pendant qne la lumière positive se contracte et que les régions de séparation deviennent plus grandes. Les lueurs négatives s'approchent de plus en plus de deux croissants dont les pointes sont tournées vers le centre de la sphère ; finalement, quand la lumière positive a complètement disparu, il se forme un corps lumineux creux qui enveloppe un espace obscur et dont la surface extérieure est éloignée de la paroi de 1 cm

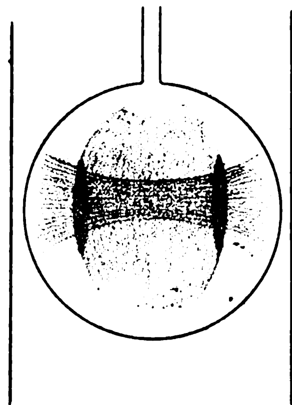


Fig. 3.

environ (fig. 3). Pour des pressions plus faibles encore, le diamètre de ce corps creux diminue, pendant que l'épaisseur de ses parois augmente ; puis brusquement, pour une pression déterminée, toute lumière disparaît.

Dans une sphère qui se trouve à une assez grande distance des armatures, la formation du corps creux n'est pas aussi facile à suivre : le passage de l'une des apparences à l'autre se fait insensiblement.

Aux pressions déjà suffisamment faibles pour que le corps creux se soit éloigné de quelques millimètres de la paroi de verre, la décharge présente des apparences radiantes. Les rayons sont normaux aux armatures, et leur direction dépend de celle des armatures, comme on peut s'en assurer en donnant à ces dernières une direction oblique. Ces rayons constituent une forme d'énergie radiante, présentant un phénomène analogue aux rayons cathodiques, quoique distincts de ceux-ci. (V. plus loin.)

Influence de la nature du gaz. — La nature du gaz renfermé dans le tube n'a pas d'influence essentielle sur la décharge : la nuance de la lumière, les dimensions des diverses régions varient avec la nature du gaz et aussi les valeurs de la pression correspondant à un phénomène déterminé. Les phénomènes sont plus nets dans l'air et le gaz de l'éclairage que dans l'hydrogène et le gaz carbonique.

2. Tubes cylindriques a bases planes. — Dans un tube cylindrique à bases planes, relativement court, les apparences de la décharge sont en gros les mêmes que dans une sphère. La seule différence importante est relative aux rayons de décharge. Ces rayons partent seulement des bords des bases du cylindre et forment un cylindre creux : la lumière positive forme de même un cylindre creux ouvert à ses extrémités.

Influence de l'écartement des armatures. — Pour un grand écartement entre les armatures du condensateur les apparences deviennent floues. En prenant des cylindres de plus en plus longs, on observe que les rayons de décharge partent toujours du bord des bases,

mais que la lumière positive se transforme de plus en plus en un cylindre plein qui, notamment aux pressions assez fortes, est nettement incurvé vers son milieu.

Influence de la pression. — Quand la pression augmente, les phénomènes se modifient à peu près comme dans la sphère.

Si la pression diminue (à partir de la valeur qui correspond au phénomène-type), la lueur négative augmente de longueur et de largeur, l'espace creux dans la lumière positive devient plus petit. La lumière positive finit par disparaître et les rayons de décharge forment une masse lumineuse continue qui ne remplit pas tout le tube, mais reste à quelque distance de la paroi et se termine de part et d'autre par un cône arrondi (fig. 4). Ce cône

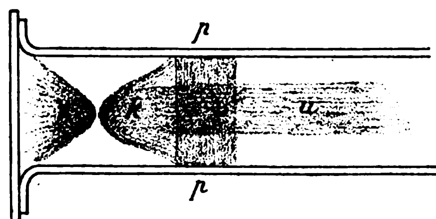


Fig. 4.

se rencontre avec un autre cône de rayons qu'émet le bord de la base du tube. Ces derniers rayons se prolongent jusqu'à la paroi opposée où ils provoquent la fluorescence : ce sont des rayons cathodiques.

Ce que nous avons dit jusqu'à présent se rapporte aux tubes relativements courts. Dans les tubes longs n'apparaissent, quand on diminue la pression, ni région obscure, ni couches lumineuses, comme on les observe dans les tubes courts ; des rayons de décharge, on passe progressivement sans limite précise à la lumière positive.

Dans l'hydrogène, les phénomènes sont encore plus flous que dans l'air.

Si le vase cylindrique placé entre les armatures est divisé en deux parties par une paroi médiane perpendiculaire à son axe, les phénomènes cathodiques apparaissent aux deux côtés de la cloison médiane, comme sur les cloisons terminales.

3. Vases parallépipédiques a parois planes. — La décharge-type est dans ses principaux caractères semblable à celle qui se produit dans les cylindres. Les rayons de décharge partent seulement des arêtes des surfaces terminales. La lumière rougeâtre est séparée de la lueur négative par une région obscure et forme un parallépipède creux ouvert à ses extrémités.

Quand on écarte les armatures du condensateur, les diverses régions deviennent moins nettes ; elles sont aussi toujours moins nettes dans l'hydrogène que dans l'air.

Avec les vases parallépipédiques, on a la possibilité de changer la longueur du vase, toutes les autres circonstances restant les mêmes. On constate que la limite de la lumière rougeâtre est toujours à la même distance des parois, quelle que soit la longueur de la colonne de gaz luminescent, pourvu que, dans chaque cas, les armatures du condensateur soient à la même distance.

4. Tubes a double paroi. — Aux pressions un peu élevées apparait à chaque extrémité un anneau de lumière négative, d'où sort la lumière rougeâtre qui enserre de près le tube intérieur. Aux pressions plus basses, les rayons de décharge deviennent plus longs, des régions de séparation se forment nettement entre eux et la lumière rougeâtre ; cette dernière augmente d'épaisseur, serre de près la paroi du tube intérieur, mais ne suit pas la paroi extérieure. Lorsque la pression devient très basse, l'espace entier se remplit d'une lumière diffuse, très sensible à l'approche des conducteurs ; la fluorescence apparait, mais presque exclusivement sur la paroi du cylindre extérieur.

De tous ces phénomènes, ainsi que de ceux qui seront décrits dans les pages suivantes, on peut déduire le théorème fondamental suivant :

Lorsque des oscillations très rapides de potentiel se produisent à la limite de deux milieux dont l'un est un gaz raréfié, on observe en général du côté de la cathode les phé-

nomènes observés dans les tubes à décharges, en particulier les rayons cathodiques et les phénomènes parents. Il est d'ailleurs indifférent que le deuxième milieu soit analogue à un diélectrique ou à un métal; les mêmes phénomènes apparaissent à la limite de deux régions du gaz différemment constituées, par exemple à la limite de la région obscure et de la couche de lueur, aux étranglements du tube, etc.

II. Vases placés en dehors des armatures, de manière que leur axe soit parallèle a celui du condensateur.

1. *Vases très larges.* — Les vases sont placés en dehors des armatures, très près de leur bord. Comme toujours, les phénomènes observés varient avec la pression; dans leur forme générale, ils consistent dans un arc de lumière rougeâtre qui s'étend d'une armature à l'autre; au voisinage des armatures se forment des faisceaux de lumière bleue, où les rayons deviennent de plus en plus visibles quand la pression diminue, et qui sont séparés de la lumière rouge par une région obscure. Aux pressions très faibles, deux autres régions obscures, en forme d'entailles, apparaissent en face des armatures: elles correspondent à l'intervalle obscur qui sépare la lumière des parois dans les vases qui sont placés entre les armatures. Les rayons cathodiques se forment quand la pression est suffisamment basse, et il est à remarquer qu'ils sont d'autant plus nets que la distance entre les armatures est plus grande, au moins dans certaines limites.

2. *Tubes.* — Dans les tubes, on obtient les diverses régions séparées par des plans perpendiculaires à l'axe; mais le phénomène est dissymétrique si aucun pont ne se trouve sur les fils de Lecher, et au contraire parfaitement symétrique dès qu'un pont est posé sur ces fils. La symétrie existe en ce sens que les deux armatures du condensateur jouent le rôle de cathodes (V. part. I). La région obscure qui s'étend autour des armatures pénètre d'autant plus profondément la région lumineuse que le gaz est plus raréfié.

3. *Tubes à double paroi renfermant les armatures du condensateur.* — Les phénomènes sont dans ce cas particulièrement beaux: les apparences lumineuses sont absolument uniformes dans tout l'espace annulaire. Vis-à-vis des armatures se trouvent deux anneaux de lumière bleue négative; entre elles un cylindre de lumière rouge, large et brillant, et, en dehors de ce cylindre, encore un cylindre de lumière bleue, qui va en s'affaiblissant de plus en plus vers l'extérieur. Entre les deux cylindres et les anneaux bleus se trouvent des régions de séparation.

4. *Vases parallélipipédiques.* — Les phénomènes restent à peu près les mêmes que précédemment; mais il est facile de voir dans ce cas que les régions obscures qui se forment dans les vases, qu'ils soient placés soit entre les armatures soit en dehors, sont dues à la même cause.

III. Influence d'un tube luminescent sur la répartition de l'énergie dans le champ.

La présence d'un tube luminescent modifie la répartition de l'énergie dans le champ. En effet, si on amène dans le champ où un tube est luminescent un autre tube, l'éclat du premier diminue aussitôt que le second commence à luire. On peut du reste réaliser une expérience plus complète de la manière suivante. On bifurque les fils de Lecher vers leur extrémité, de façon que l'on ait deux condensateurs terminaux et par conséquent deux champs séparés. Entre les armatures de chacun des condensateurs se trouve un tube qui communique avec une pompe à mercure particulière. Le vide est fait d'abord dans l'un des tubes R et poussé jusqu'à ce qu'apparaisse la décharge-type. Ensuite on fait le vide dans le second tube R' jusqu'à la même pression : aussitôt que ce second tube a commencé à luire, l'éclat du premier R diminue. Si, par un changement de pression ou quelque autre moyen, on éteint

le tube R', le tube R reprend son éclat primitif. Inversement, toute cause qui provoque une diminution d'éclat dans R provoque une augmentation dans R'. Comme les changements de pression intervenus n'ont pu que très peu modifier les propriétés électriques du gaz contenu dans les tubes, il faut attribuer ces phénomènes à l'absorption d'énergie par le gaz luminescent.

IV. Un tube luminescent joue le role d'écran électrodynamique.

On sait que les conducteurs métalliques ou électrolytiques jouent le rôle d'écran vis-à-vis des oscillations électriques très rapides et aussi bien dans l'espace situé en avant par rapport à la source des oscillations, que dans l'espace situé en arrière [1].

Les gaz luminescents jouissent à cet égard de la même propriété que les conducteurs, comme l'ont montré les expériences de Moser, de J.-J. Thomson, de Wiedemann et Ebert.

Moser entoure un tube qui a été vidé d'air et complètement scellé, par un autre tube plus large et un peu plus long. Ce dernier tube est relié d'un côté à une pompe à mercure et de l'autre est scellé. La pression dans le tube intérieur reste invariable : au voisinage de la bobine d'induction, ce tube devient bleu clair, sans stratification. Si on fait le vide dans le tube extérieur, celui-ci s'illumine aussi quand la pression est devenue assez faible et prend une couleur rouge foncé : en même temps, il sert d'écran au tube intérieur, qui devient obscur. Si on pousse le vide plus loin, le tube extérieur s'éteint et ne forme plus écran ; le tube intérieur s'illumine de nouveau.

J.-J. Thomson utilise un tube qui présente la forme d'un calorimètre de Bunsen : dans le manchon qui pénètre à l'intérieur, on peut placer un autre tube vide. Celui-ci s'illumine seulement quand le tube extérieur reste obscur, soit parce que la pression y est trop basse, soit parce qu'elle y est trop élevée (les oscillations étaient induites par la décharge d'une bouteille de Leyde). Il est à remarquer aussi que pour une certaine valeur de la pression, un peu plus élevée que la pression à laquelle le tube extérieur commence à s'illuminer, les deux tubes restent obscurs. La décharge qui passe dans le tube extérieur joue donc déjà le rôle d'écran électrodynamique avant que le gaz devienne assez lumineux pour être visible dans l'obscurité.

Wiedemann et Ebert ont adopté la disposition suivante (fig. 5). Le tube qui doit servir

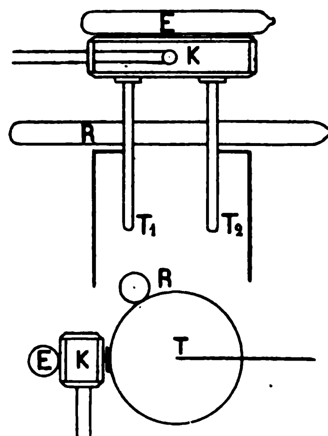


Fig. 5.

d'écran a la forme d'une cuve rectangulaire K communiquant avec la pompe à mercure, posée contre les armatures du condensateur qui termine les fils de Lecher. Derrière K se trouve le tube sensible E servant d'indicateur. Le tube R est destiné à exciter la luminescence dans la cuve K (voir plus haut). On fait le vide progressivement dans la cuve ; à un moment donné elle commence à s'illuminer, mais faiblement ; la luminescence absorbe peu d'énergie et le tube E continue à luire. Si on diminue davantage la pression, la luminescence de K augmente, le gaz forme écran et le tube E s'éteint ; enfin, aux pressions très basses, la luminescence cesse dans K et E redevient lumineux : l'effet d'écran a disparu.

(1) Hertz, *Wied. Ann.*, t. XXXVII, p. 401, 1889. Stefan, *Idem*, t. XLI, p. 416, 1890.

Les mêmes expérimentateurs ont aussi employé un cylindre à doubles parois, dont l'espace annulaire communique avec la pompe à mercure ; dans la cavité centrale on peut glisser un tube vide indicateur. Les deux espaces, pour une certaine pression, jouent alternativement le rôle d'écran : quand l'un s'illumine, l'autre s'éteint. Un tube luminescent produit donc tout autour de lui une ombre électrodynamique.

De l'ensemble des expériences se révèle ce fait que l'effet d'écran disparait aussitôt que la région obscure, qui pénètre dans le gaz, en face des armatures du condensateur (voir ci-dessus, II, 1), s'est étendue jusqu'à la paroi opposée. L'effet ne dépend donc pas seulement de la pression ; et, de ce que dans certaines conditions cet effet ne se produit pas, on ne peut pas rigoureusement conclure que le vide n'a pas les propriétés d'un conducteur.

L'expérience suivante, due à E. Wiedemann et Schmidt [1], prouve bien que le gaz luminescent absorbe les oscillations électriques.

Entre le condensateur de Lecher et un tube sans électrodes *r*, est placé un tube plus long R, muni d'électrodes, dans lequel on peut faire passer le courant d'une machine à influence. Quand le courant ne passe pas dans R, le tube *r* est luminescent ; R l'est très peu. Si on établit le courant, le changement est insignifiant, quand e_1 est la cathode ; mais le tube *r* s'éteint ou du moins devient beaucoup moins brillant si e_1 est l'anode. Par conséquent, le gaz contenu dans R, qui laisse passer les oscillations quand il n'est traversé par aucun courant, les absorbe dès qu'il est devenu luminescent ; au contraire, la région cathodique obscure n'exerce qu'une absorption extrêmement faible.

Lorsque le tube R touche les armatures du condensateur, et que la pression dans ce tube est assez faible, il apparaît deux taches fluorescentes vertes sur la paroi en face des armatures. Ces taches disparaissent quand on diminue davantage la pression. Mais dès qu'on fait passer le courant de la machine, les taches reprennent leur intensité primitive, quoique leur surface soit plus petite. Il se produit donc entre les armateurs dans le gaz luminescent, des mouvements électriques qui ne pouvaient pas auparavant traverser les régions obscures.

Les gaz jouissent de cette même propriété d'absorber les oscillations quand ils sont rendus luminescents par les « Kanalstrahlen » de Goldstein [1].

Conductibilité des gaz. — Nous venons de voir que vis-à-vis des oscillations rapides, le gaz luminescent se comporte comme un conducteur en ce sens qu'il peut jouer le rôle d'écran électrodynamique. Plusieurs hypothèses ont été faites sur la nature de cette conductibilité, en particulier on a supposé que cette conductibilité était la conductibilité électrolytique. Un certain nombre d'expérimentateurs, parmi lesquels Perrot, Lüdeking, J.-J. Thomson, ont démontré que dans plusieurs cas, les produits de décomposition du gaz apparaissent aux électrodes, dans les proportions qui sont déterminées par les lois de Faraday ; mais dans d'autres cas, il n'en est pas ainsi.

La question a été reprise récemment par MM. E. Wiedemann et Schmidt [2]. Les auteurs font remarquer que les composés halogénés du mercure et un grand nombre de combinaisons même organiques, quand la décharge les traverse, montrent les lignes spectrales des combinaisons et non celles des éléments. D'autre part, les décompositions qui ont été signalées, peuvent aussi être attribuées à l'action de la chaleur. Dans leurs

(1) *Sitzungsberichte der phys. med. Societat zu Erlangen*, 8 mars 1897.

(1) *Sitzungsberichte der Akad. der Wissenschaften zer Berlin*, 1886, (2) p. 691.

(2) *Sitzungsberichte der phys. med. Societat zu Erlangen*, 8 mars 1897.

expériences, ils se sont efforcés d'éviter, autant que possible, cette action de la chaleur. La source de courant consistait dans une batterie d'accumulateurs de 1 000 éléments; dans le circuit se trouve intercalée une résistance variable formée par une solution d'iodure de cadmium dans l'alcool amylique. Les expériences ont porté sur le gaz chlorhydrique, les chlorure, bromure et iodure mercuriques. Les gaz voisins de la cathode et de l'anode étaient soutirés par des tubes latéraux et passaient dans des tubes contenant de la vapeur de mercure, qui, avec le chlore libre, devait former du chlorure mercureux, ou de l'argent chauffé qui, dans le cas des composés haloïdes, devait absorber l'halogène.

Dans aucun cas, les produits de la décomposition ne se sont trouvés dans les proportions correspondant à la loi de Faraday; à peine 6 p. 100 de la quantité théorique se sont produits dans le cas le plus favorable.

D'après ces résultats, il ne paraît pas que l'hypothèse de la conductibilité électrolytique des gaz corresponde aux faits.

(*A suivre.*)

M. Lamotte.

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS ÉLECTRIQUES [1]

Distribution

Le dispositif imaginé par MM. A. T. Snell, C. E. Grove et A. F. Hills pour permettre les croisements sur réseau avec distribution à trois fils, serait d'une application difficile. Les inventeurs admettent que, le conducteur A (fig. 10) de la voie montante étant (+), le conducteur B de la voie descendante étant (—) et le retour se faisant par les rails R qui jouent le rôle de fil neutre, une voiture ait à passer d'une voie sur l'autre et ait ainsi à être alimentée successivement par un conducteur positif et un conducteur négatif. Pour opérer le croisement, les conducteurs A et B ne sont pas modifiés; ils

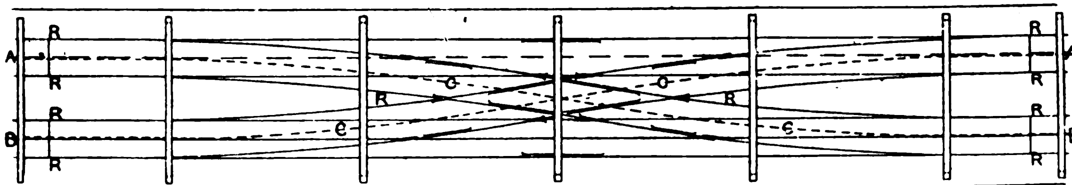


Fig. 10. — Croisement Snell, Grove et Hills (1896).

sont tendus en droite ligne au-dessus de leurs voies respectives. Le conducteur de croisement est tendu au ras du sol, dont il est isolé, et est relié au conducteur aérien, soit directement, soit par un commutateur. La voiture est munie d'un trôlet supérieur et d'un trôlet inférieur afin de pouvoir prendre le courant sur les conducteurs ordinaires ou sur les conducteurs de croisement. Un commutateur à deux directions placé sur la voiture empêche les moteurs d'être alimentés par les deux conducteurs à la fois. Le fonctionnement de ce commutateur et du commutateur de la ligne serait automatique, mais la construction de ces organes n'est pas décrite. Enfin, il faudrait prendre des précautions spéciales pour éviter que les trôlets inférieurs viennent en contact avec les rails. Le but de ce dispositif, qui est d'éviter les courts circuits, semble difficilement atteint.

Pour éviter l'effet disgracieux des deux conducteurs parallèles dans les tramways électri-

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 13 novembre, p. 309.

ques à deux conducteurs aériens, M. E. Lachmann emploie un seul conducteur divisé en sections a_1, b_2, a_3 (fig. 11), qui sont alter-

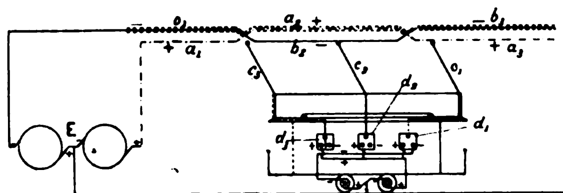


Fig. 11. — Schéma de la distribution Lachmann (1897).

nativement reliées au feeder positif et au feeder négatif; la voiture porte trois trôlets placés l'un derrière l'autre; la longueur de chaque section est un peu inférieure à la distance qui sépare les deux trôlets extrêmes. Le courant n'est ainsi jamais interrompu dans le circuit des moteurs, mais comme chaque trôlet prend alternativement des polarités différentes, il faut qu'il soit réuni au circuit des moteurs par un commutateur inverseur spécial; ces commutateurs sont représentés en d_1, d_2 et d_3 sur la figure 11. La figure 12 en représente le détail. Chacun

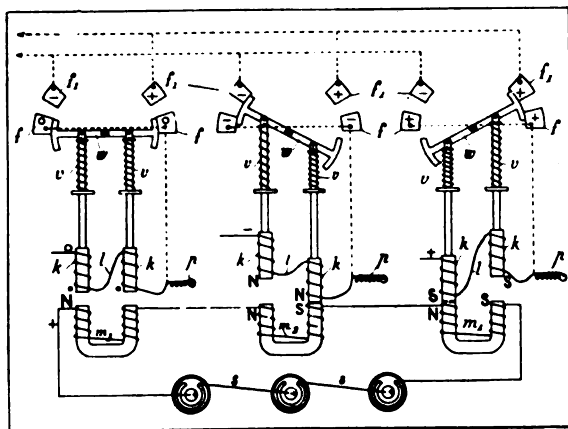


Fig. 12. — Détail du commutateur inverseur Lachmann.

des trôlets c_1, c_2, c_3 est relié respectivement à l'un des conducteurs l, enroulés sur les noyaux k de telle façon que les extrémités des deux noyaux d'un même groupe aient la même polarité à la partie inférieure; l'enroulement l est à la terre par une grande résistance p et communique avec les deux plots ff. Les noyaux sont suspendus aux extrémités de leviers w, pivotés en leur milieu, comme le fléau d'une balance, et portant des contacts qui peuvent réunir les plots f avec l'un ou l'autre des plots f' qui sont en communication respectivement avec les deux conducteurs du circuit des moteurs ; des ressorts v tendent à maintenir les fléaux w horizontalement, comme le représente le dessin à gauche de la figure. En dessous des noyaux k sont disposés trois électro-aimants en fer à cheval animés par une pile s d'une façon continue. Lorsque aucun courant ne passe en l, le fléau est maintenu horizontal et les plots f et f' ne sont pas réunis ; lorsque au contraire le courant passe dans un de ces enroulements, suivant sa direction, l'un ou l'autre des deux noyaux sera attiré vers le bas, et l'autre repoussé, ce qui mettra en communication l'un des plots f' en contact avec le trôlet par l'intermédiaire du fléau.

Ce système peut être appliqué à la distribution à trois fils, comme l'indique la figure ; avec quelques modifications, il s'applique également aux distributions par courants polyphasés.

M. Max Déri cherche à remédier aux défauts des moteurs à courants alternatifs dans leur application aux tramways, en montant sur une même voiture à la fois un moteur à cou-

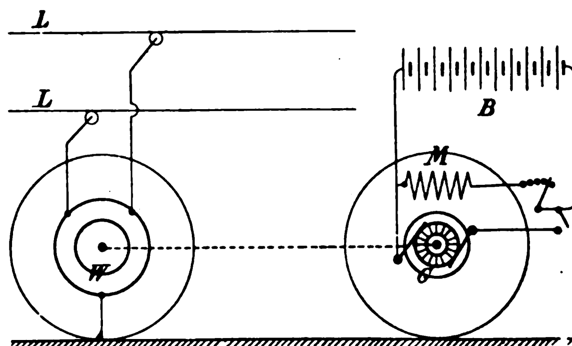


Fig. 13. — Tramways à courants alternatifs et à courant continu, système Max Déri (1897).

rants alternatifs W (fig. 13), un moteur à courant continu G, et une batterie d'accumulateurs B. La ligne L est alimentée seu-

lement par des courants alternatifs et le moteur W seul lui est relié. Le moteur G n'est pas relié à la ligne, mais simplement à la batterie B. Les deux moteurs peuvent être montés sur le même essieu ou sur des essieux différents de la même voiture. On comprend sans peine le fonctionnement de ce système : en marche normale, le moteur W fait seul tout le travail; le moteur G est mis hors circuit; mais au moment des démarrages, à la traversée de certaines rues, places, etc., où la canalisation L doit être supprimée pour des raisons d'esthétique ou de sécurité, c'est au contraire le moteur G qui assure à lui seul le service; au moment de la montée des rampes, ce dernier moteur peut également être mis en service. Enfin, pendant la descente des côtes, au moment des arrêts, il peut fonctionner en génératrice et charger la batterie, tout en faisant fonction de frein.

Comme le démarrage est assuré par le courant continu, on peut employer les courants alternatifs monophasés ; la ligne aérienne n'aurait ainsi qu'un seul conducteur; le retour par les rails s'effectuerait sans danger d'électrolyse. D'une façon générale, on profiterait de tous les avantages des courants alternatifs, notamment pour la transmission, au

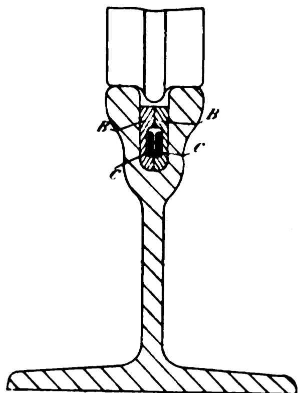


Fig. 14. — Disposition des conducteurs dans les rails système Meacock (1896).

prix du transport supplémentaire du moteur G et de sa batterie. Ce système pourra dans certains cas recevoir d'utiles applications.

M. T. Meacok place les conducteurs C dans l'ornière des rails de roulement qui peut être d'une forme quelconque. Ces conducteurs sont placés dans une gaîne en caoutchouc B, formée de deux parties (fig. 14); chaque moitié est un peu plus épaisse que la moitié de la largeur de l'ornière, afin qu'elles soient fortement pressées l'une contre l'autre et forment un joint hermétique. La voiture porte par ressorts une lame conduc-

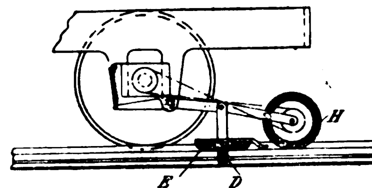


Fig. 15. — Prise de courant, système Meacock (1896).

trice D (fig. 15), isolée en E, et réunie au circuit des moteurs, qui passe entre les deux lames de caoutchouc et vient faire contact avec les conducteurs C. Une brosse rotative H nettoie les rails devant la voiture. Un des rails porte les conducteurs d'aller, l'autre ceux de retour.

La distribution C. F. de Redon appartient à la catégorie des conducteurs sectionnés placés en caniveau ouvert.

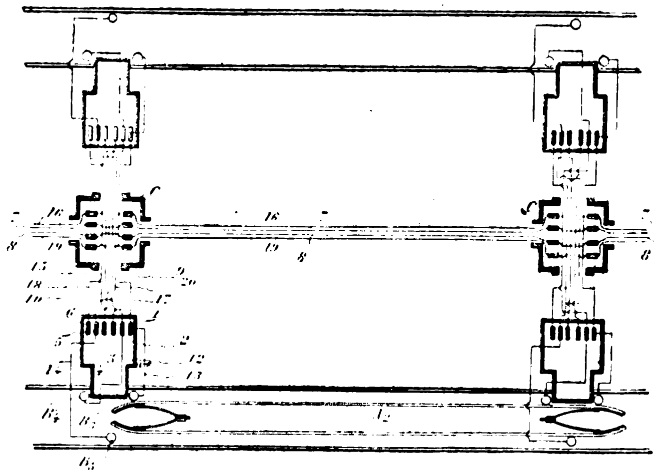


Fig. 16.— Distribution de Redon (1896), schéma des circuits.

Le trôlet A_2 (fig. 16) porté par la voiture et circulant dans un caniveau ouvert A (fig. 17 et 18), a la forme d'un fuseau; un des côtés de

ce trôlet sert à l'aller du courant, l'autre au retour ; il est en fer ; il vient frotter contre

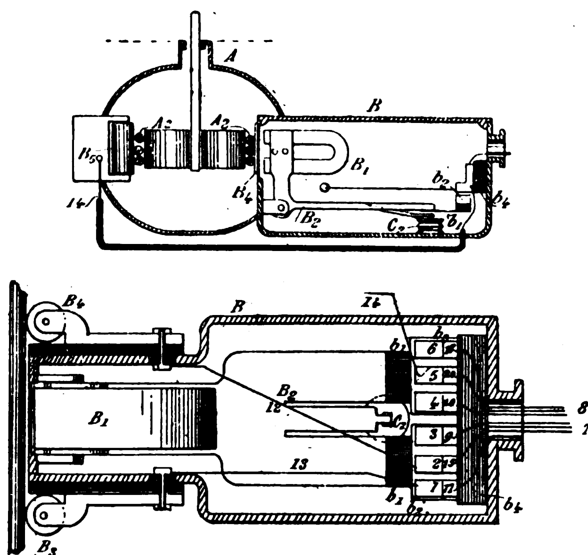


Fig. 17 et 18. — Distribution de Redon ; détail des commutateurs ; plan et coupe.

des rouleaux métalliques B_3, B_4, B_5, placés en avant des boîtes commutatrices B. Dans chacune de ces dernières (fig. 17 et 18) est placé un aimant permanent B_1 porté par un levier B_2 pivoté à sa partie inférieure. Lorsque le trôlet passe devant une boîte (qui est en métal non magnétique et de très faible épaisseur devant l'aimant), il attire l'aimant ; le levier B_2 bascule et son extrémité opposée b_1 met en contact les deux plaques b_2 et b_3 avec les plots 1, 2, 3 et 4, 5, 6 respectivement.

En suivant les circuits, on voit facilement que la marche du courant est la suivante : dans la boîte de droite, le courant venant du feeder 7 passe par 9, 3, b_2, 1, 13, B_3, puis revient par B_5, 14, 5, b_3, 4, 10, 8. En même temps un courant se dérive à la boîte suivante et alimente également les moteurs lorsque le trôlet vient en contact avec le rouleau B_3 de cette dernière. La marche du courant dérivé est la suivante : 7, 9, 3, b_2, 2, 15 (dans la boîte de droite) ; 16, 17, 1, 13, B_3 (dans la boîte de gauche) ; il fait retour par la boîte de droite comme le courant principal, ou par la boîte de gauche, suivant la position du trôlet. L'éloignement des distributeurs consécutifs est réglé par la longueur du trôlet,

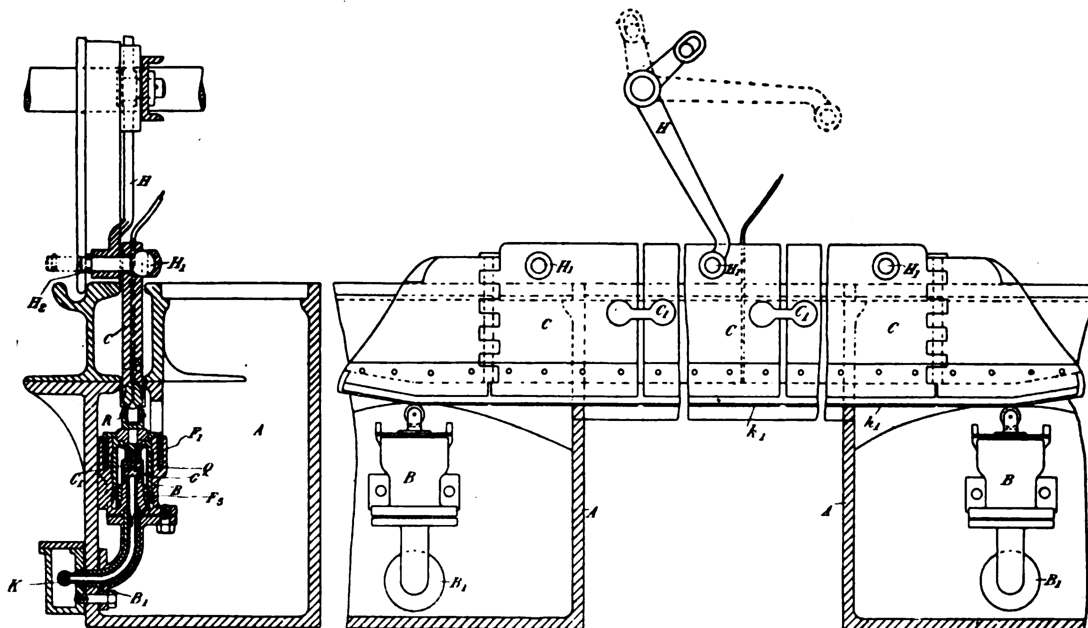


Fig. 19 et 20. — Canalisation souterraine Stendebach et Linker (1897) à caniveau ouvert.

ainsi que dans tous les systèmes de ce genre.

Pour assurer l'alimentation continue des moteurs au moment où le distributeur de droite rompt le circuit et où le distributeur

de gauche l'établit, chacun des distributeurs est muni d'un soufflet à air C_2, qui ne laisse tomber l'aimant que très lentement lorsqu'il n'est plus attiré par le trôlet et fait ainsi durer le contact pendant quelques instants après le passage de la voiture. C'est pendant cette période transitoire que le courant dérivé est principalement utilisé.

Nous avons déjà décrit un grand nombre de distributions souterraines en caniveau ouvert avec rails sectionnés et commutateur mécanique. La distribution de MM. C.-F.-P. Stendebach et O.-H. Linker appartient à cette catégorie (fig. 19 et 20).

Le contact en charbon G est en communication permanente avec le feeder K; il est placé à l'intérieur d'une cuvette B dont il est isolé; cette cuvette est en partie remplie de mercure dans lequel plonge une cloche F_1 à la partie supérieure de laquelle est fixé un second bloc de charbon G_1 et qui est surmontée d'un rouleau pour la prise de courant R, sur lequel vient frotter le trôlet C qui est articulé pour s'adapter aux courbes. Un ressort F_3 tend à maintenir la cloche F_1 élevée et partant à séparer les deux contacts G et G_1. Ils viennent au contact lorsque le trôlet pressant sur le galet R abaisse la cloche. Le courant peut alors passer par des conducteurs convenablement isolés. L'emploi de la cloche et du joint à mercure empêche l'action de l'humidité et permet de ne pas interrompre le fonctionnement même lorsque la voie est partiellement inondée.

Au lieu d'employer un caniveau ouvert et un trôlet souterrain, on peut employer un contact superficiel (fig. 21). Le feeder est relié aux griffes G_2 placées également dans la cloche à mercure. Le bouton de contact D_2, isolé en D_3, est relié par un conducteur isolé passant dans la tige rigide D_1 au contact G_3 placé sous les griffes G_2. En temps ordinaire ce bouton D_2 est maintenu au niveau du sol par un ressort f et le contact est rompu en G_2, G_3. Lorsque la voiture passe en face du commutateur, sa roue d'avant abaisse le piston H_4 placé dans l'ornière du rail et poussé vers le haut par un ressort F_4, ce qui fait basculer le levier H^5 pivoté en H; l'extrémité opposée de ce levier soulève par H_6 et d_2 le bouton D_2 et établit le contact. Le ver-

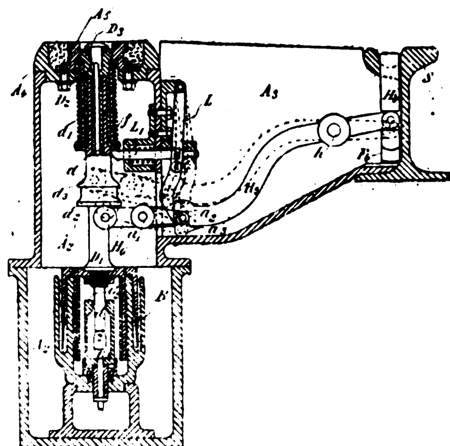


Fig. 21. — Distribution Stendebach et Linker (1897) à contact superficiel.

rou L_1 s'engage alors sous la buttée d_2 et maintient le tout en état, lorsque la roue d'avant de la voiture s'étant avancée, le levier H_5 s'abaisse par son propre poids. Pendant cette opération, le levier L, solidaire du verrou L_1, s'est légèrement déplacé vers la droite par suite de la différence des diamètres en d et d_3. Le bras H_6 est pivoté en a_1 et est relié par une articulation a^3 au levier H^5. Lorsque, après la première opération décrite, ce dernier s'abaisse, le bras H_6 n'appuyant plus sur la buttée d_2, viendra prendre la position représentée en pointillé, ce qui permettra à a_3 de passer sous le levier L qui est courbé comme l'indique le dessin. Lors donc que la roue d'arrière de la voiture viendra abaisser de nouveau le piston H_4, a_3 passera derrière le levier L, qui s'est éloigné comme nous l'avons expliqué, et le poussera encore plus vers la droite, ce qui dégagera le verrou L_1 et permettra au ressort f de ramener le commutateur à la position de repos.

L'affleurement électro-magnétique R. Demeuse est étudié pour fonctionner également

***

avec courants continus ou courants alternatifs.

La distribution pour courants continus se

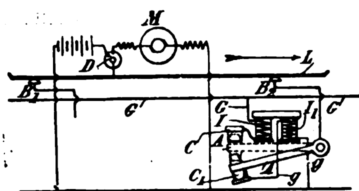


Fig. 22. — Distribution par contact superficiel, système R. Demeuse (1897), schéma des circuits pour courant continu.

comprend sans peine. Lorsque le patin de contact L (fig. 22 à 24) porté par la voiture est en contact avec deux pavés conducteurs, tels que B_1 et B_2, le premier étant supposé en communication avec le feeder par l'intermédiaire de son commutateur, un courant se dérive par B_2, le levier A, le contact à griffes C_1, l'électro I_1, en fil fin et long, et la terre. Cet électro attire le levier A qui vient en contact avec les lames métalliques C. Le courant dérivé est alors rompu en C_1 et le courant principal passe par le feeder G, l'électro I en fil gros et court, C, A, B_2, L et les moteurs M, pour faire retour par les rails. Une batterie D portée par la voiture peut actionner

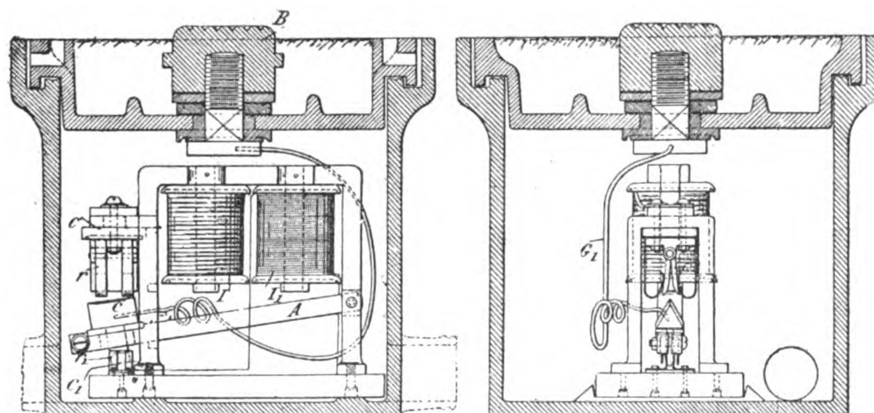


Fig. 23 et 24. — Commutateur électromagnétique Demeuse pour courant continu ; coupe longitudinale et coupe transversale.

le distributeur lorsque le courant principal est interrompu.

Les fig. 23 et 24 représentent la construction du distributeur.

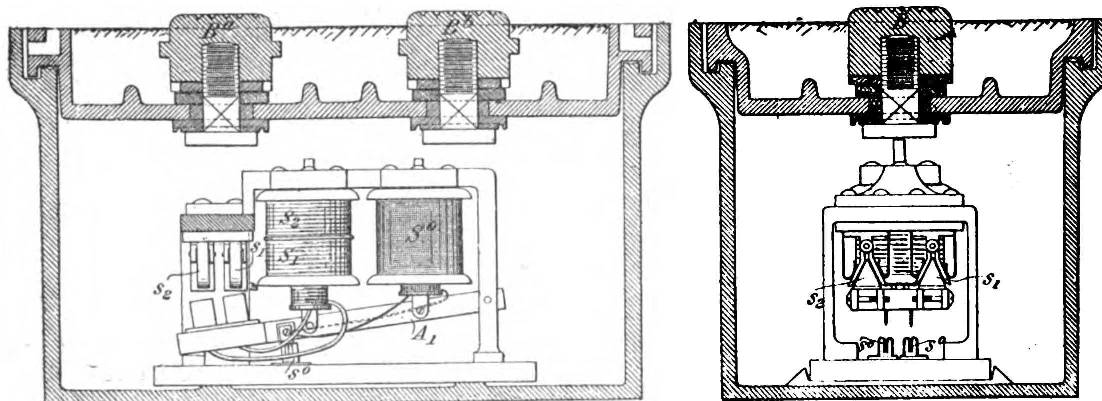


Fig. 25, 26 et 27. — Distribution par contact superficiel, système Demeuse ; schéma des circuits pour courants triphasés.

Pour les courants alternatifs, le principe est le même ; seulement les électros I et I_1 sont remplacés chacun par deux solénoïdes S_0, S_1 et S_2 (fig. 25, 26 et 27), montés en série

l'un avec l'autre et placés l'un dans l'autre. En outre, dans le cas de courants polyphasés, il est, bien entendu, nécessaire d'employer plu-

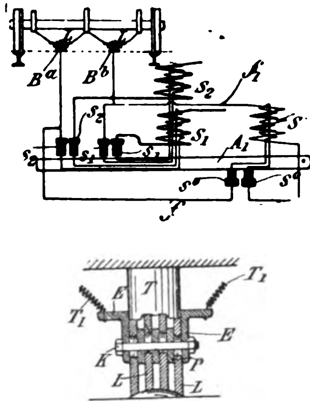


Fig. 28. — Patin de contact Demeuse.

sieurs pavés de contact. La figure 27 représente le schéma des circuits dans le cas de courants triphasés.

Le patin de contact est formé de plusieurs lames plates L (fig. 28) séparées les unes des autres par des rondelles P, et enfilées sur une tige K par un œil ovale. Chacune des lames est poussée vers le bas par des ressorts contenus en T. L'ensemble est suspendu sur la voiture à ses deux extrémités par 4 ressorts T_1 fixés aux équerres E. De cette façon, quelles que soient les inégalités de la voie, le contact avec les pavés de contact est toujours assuré.

Un des rails L, dans la distribution A.-G. Adamson (fig. 29), est composé de sections isolées les unes des autres et du sol ; il sert à l'alimentation des voitures ; l'autre L_1 sert au retour du courant. Chaque section de rail, dont la longueur dépend de la longueur de la voiture, est munie d'une boîte, 1, 2, 3,... 6, qui contient le commutateur distributeur dont le principe est représenté schématiquement en dessous de chacune de ces boîtes. Chaque commutateur se compose d'une tige isolante pouvant tourner autour d'un axe horizontal passant par son milieu et portant à cha-

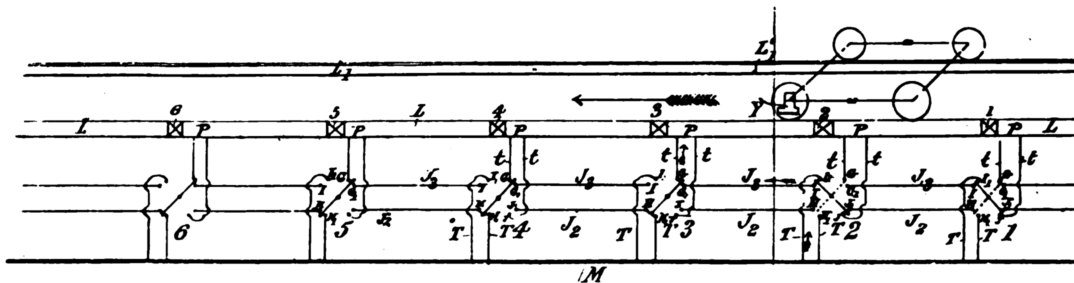
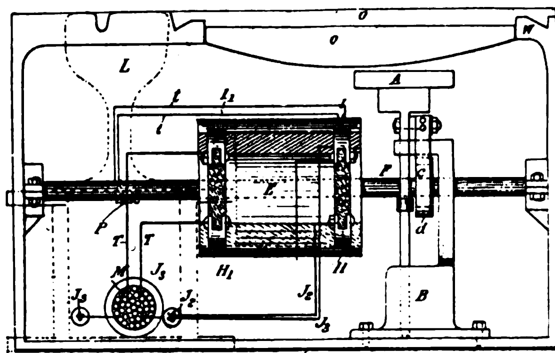


Fig. 29. — Schéma du système Adamson (1896).

cune de ses extrémités un segment conducteur; les deux segments portés par chaque tige peuvent réunir soit les contacts I et I_1, J et J_1, soit les contacts H et H_1, G et G_1, suivant la position de la tige. Les deux contacts I_1 et H_1 de chaque commutateur sont réunis au feeder M ; les contacts G et J, à la section de rail précédant le commutateur ; les contacts G_1 et J_1 respectivement aux contacts I_1 et H_1 du commutateur précédent, tandis que I et H sont au contraire réunis aux contacts G_1 et J_1 du commutateur suivant, comme l'indique clairement le schéma (fig. 29). Chacune des boites 1, 2, . . . 6, contient un bloc de fer A (fig. 30 et 31), guidé par une tige verticale, que son poids tend à maintenir abaissée, mais qu'un électro-aimant Y porté par la voiture (fig. 29) peut attirer vers le haut. Ce bloc A est guidé par une tige verticale coulissant en B et porte un cliquet à ressort C qui s'engage dans une roue à rochets *d*. Chaque fois que le bloc A s'élève, la roue *d* fera un quart de tour et entraînera par l'arbre F et le tambour isolant E les segments conducteurs ; elle reste immobile quand le bloc A s'abaisse.

Lorsque l'électro Y passe au-dessus de la boite 2, par exemple, il fait donc, par son attraction sur A passer le contact de GG_1 et HH_1 en II_1 et JJ_1. Le courant passe alors



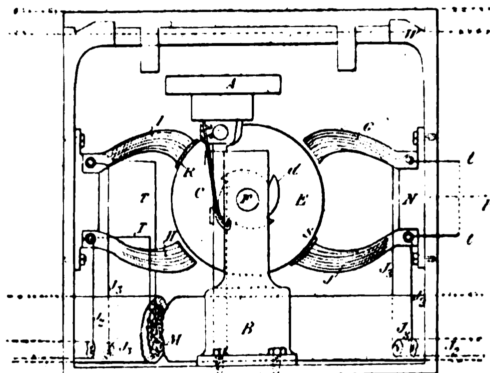


Fig. 30 et 31. — Détail des commutateurs Adamson.

par TI_1 IJ_3, G_1 (en 3) G_7, le rail entre 2 et 3, et la voiture. Il en sera de même à chaque passage au-dessus d'une boite. L'alimentation des moteurs sera donc continue. En outre, chaque commutateur conservant sa position après le passage de la voiture, la marche avant et la marche arrière sont possibles, l'alimentation se faisant suivant le cas par les prises de courant I ou H, la condition nécessaire à la marche étant que les deux commutateurs consécutifs, dans la direction du mouvement, soient dans des positions différentes.

Les rails sont montés sur une gouttière L

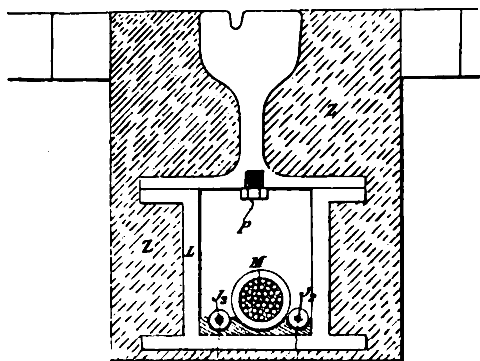


Fig. 32. — Montage des rails Adamson.

(fig. 32) qui contient les câbles et sont noyés dans un massif de béton isolant Z. Les boites sont montées dans le sol à l'extérieur des voies.

ORGANES ACCESSOIRES

L'indicateur de stations J. Steffen (fig. 33 et 34) se compose d'une courroie 3 fixée à ses

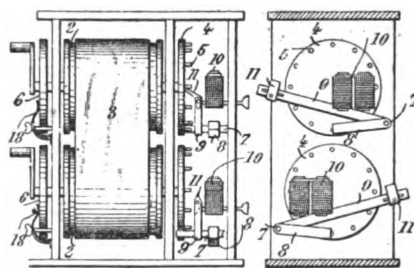


Fig. 33 et 34. — Indicateur de stations J. Steffen (1897).

deux extrémités sur les tambours 2 et sur laquelle sont imprimés les noms des stations. Chaque tambour est solidaire d'un axe portant un plateau 4 à chevilles 5 qu'un cliquet 11 peut faire avancer d'une dent chaque fois que l'électro-aimant 10 attire son armature 8. Le nom des stations successives vient ainsi se présenter devant l'ouverture pratiquée devant la bande 3. Pour la marche en avant, on met en circuit l'électro-aimant supérieur ; au voyage de retour, c'est au contraire l'électro inférieur qui est utilisé. L'indicateur se trouve dans un circuit spécial ouvert en temps ordinaire et qu'un contact manœuvré par la voiture ou son trôlet ferme pendant un instant au passage de chaque station. Les disques 6, munis de freins à ressort 18 servent à régulariser le mouvement.

La commande électromagnétique pour

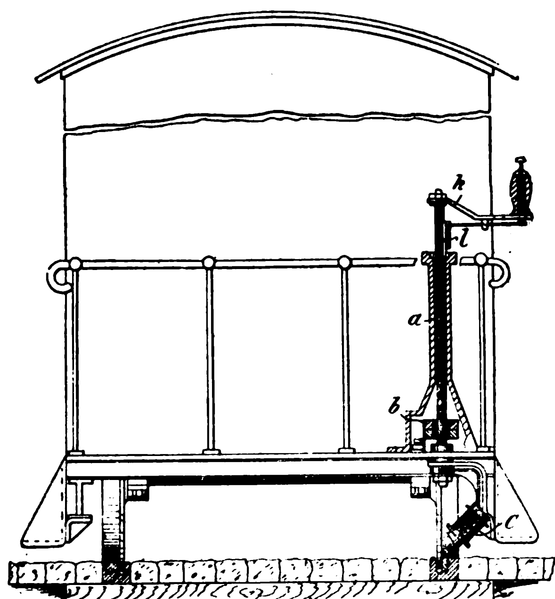


Fig. 35. — Aiguillage électro-magnétique André et Silbermann (1897).

aiguillages, de E. André et A. Silbermann, se compose simplement d'un électro-aimant C, incliné par rapport à la verticale et placé sur un bras coudé commandé par la manivelle *k* et l'arbre *l* (fig. 35). Un manchon isolant *b* est monté sur cet arbre; il est muni de quatre contacts réunis deux à deux (fig. 36) et sur les-

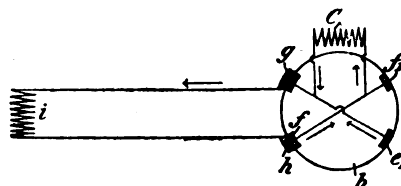


Fig. 36. — Aiguillage électromagnétique André et Silbermann; schéma des circuits.

quels frottent deux balais *g* et *h*, réunis à la source d'électricité *i*. De cette façon, l'électro-aimant C n'est mis en circuit que quand il se trouve dans un plan perpendiculaire à la voie, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur de celle-ci. Il manœuvre l'aiguillage par simple attraction magnétique.

G. Pellissier.

SUR LES MODIFICATIONS MÉCANIQUES, PHYSIQUES ET CHIMIQUES
QU'ÉPROUVENT LES CORPS PAR L'AIMANTATION

Sous l'influence d'un champ magnétique les propriétés mécaniques, physiques et chimiques des corps éprouvent des modifications. Parmi ces phénomènes, il en est quelques-uns que nous avons étudiés; ce sont :

1. Déformations mécaniques;
2. Variation de la résistivité;
3. Variation de la force électro-motrice d'un élément de pile dont une des électrodes est soumise à l'aimantation.
4. Influence du champ magnétique sur le dépôt électrochimique des métaux magnétiques.

Nous avons déjà exposé dans ce journal [1] les résultats de nos recherches sur la force électromotrice d'aimantation; nous n'y reviendrons pas.

I. Déformations mécaniques

Joule le premier a constaté qu'une tige de fer doux s'allonge suivant la direction du champ magnétique, se contractant dans la direction transversale, de manière, dit-il, « que le volume reste le même ».

Depuis, d'autres savants se sont occupés de ce phénomène et ils ont cherché à reconnaître si cet allongement, variable avec le champ magnétique, tend vers une valeur constante comme l'intensité d'aimantation (Berget), ou passe par un maximum comme la perméabilité magnétique (Ch. Bidwel,

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 248 et 297, 9 et 16 février 1895.

Nagaoka, etc.). Mais on ne s'est pas occupé de savoir s'il y a véritablement une variation de volume.

On aurait pu imaginer une disposition expérimentale pour pouvoir mesurer cette variation de volume. Une de ces dispositions pratiques consisterait à placer un barreau de fer dans un volume déterminé de mercure, et à mesurer, par la disposition de Fizeau, la variation apparente de la colonne de mercure par le déplacement des franges d'interférence.

J'ai pensé qu'il était préférable, au moins pour les expériences précises, d'employer les sels de fer en dissolution aqueuse ou autre. Car avec ces produits, si on se met à l'abri des oxydations, on a des corps bien déterminés et homogènes, ce qu'on ne peut pas affirmer dans le cas du fer solide, et en général de tous les corps solides.

J'ai employé les sels de sulfate de protoxyde de fer en dissolution rendue un peu acide, de perchlorure de fer et de ferricyanure de potassium.

La disposition de l'expérience était la suivante. Le sel de fer était contenu dans un thermomètre à gros réservoir en verre; la tige fine sur laquelle on observait la variation de volume était ouverte; le liquide se trouvait ainsi soumis à la pression atmosphérique et à la pression capillaire de la tige.

Le réservoir se trouvait dans un vase à température constante (de la glace fondante, ou d'un courant d'eau à température constante) disposé entre les pièces polaires d'un électro-aimant de Faraday, *mais sans les toucher*.

Les pièces polaires étaient à surfaces parallèles, de sorte que le champ magnétique à partir d'une faible distance du bord et à l'intérieur des pièces polaires était constant.

On observait la tige avec un microscope grossissant 150 fois le diamètre.

Dans toutes les expériences j'ai trouvé que par aimantation le volume du sel de fer diminue. Et cela indépendamment de la forme et de l'épaisseur du vase dans lequel se trouvait le sel de fer en question. Ceci prouve que ces contractions de volume sont réelles et qu'elles ne sont pas dues aux déformations du réservoir, par suite d'une attraction magnétique sur les parois mêmes du réservoir ou à la suite d'un effort extérieur dû à une force d'orientation.

Je pouvais donc considérer le fait suffisamment établi qualitativement pour l'annoncer [1].

Mais ce résultat est en contradiction avec la théorie du magnétisme, du moins suivant les idées de Poisson.

Le principe de la conservation de l'énergie nous apprend en effet que :

Lorsqu'on soumet un système magnétique à l'influence croissante du champ magnétique, l'énergie magnétique du système peut s'exprimer par $\mathrm{M}d\mathrm{I}$ où $d\mathrm{I}$ est l'accroissement de l'intensité d'aimantation et M est une fonction de l'état magnétique qui varie dans le même sens que I.

Si on suppose que le système est soumis à une pression extérieure constante p, le travail du système est pdv. Donc on a

$$d\mathrm{W} = \mathrm{M}d\mathrm{I} - pdv.$$

Comme $d\mathrm{W}$ doit être une différentielle totale exacte, on a, en prenant comme variables I et v

$$\frac{d\mathrm{M}}{dv} = -\frac{dp}{d\mathrm{I}}.$$

Or, puisque

$$\mathrm{I} = a + bp$$

$\frac{dp}{d\mathrm{I}}$ est positif, donc $\frac{d\mathrm{M}}{dv}$ est négatif, c'est-à-dire que lorsque M augmente, v diminue. L'expérience donne justement une contraction de volume. Cette coïncidence peut être accidentelle; car, dans l'équation précédente, nous avons négligé les actions moléculaires.

(1) D. Hurmuzescu, Force électromotrice d'aimantation, *Journal de Physique*, 3e série, t. II.

M. Quincke (*Wiedemann's Annalen*, t. XXIV, p. 347; 1885) avait observé des variations de volume de sels de fer renfermés dans une vessie, qui s'appuyait directement sur les pièces polaires de l'électro-aimant; dans ces conditions le phénomène qu'il a observé est dû plutôt au rapprochement de ces pièces polaires.

Par conséquent, on voit d'après ces expériences que la seule hypothèse de l'orientation des molécules est insuffisante pour expliquer le magnétisme, et qu'il est nécessaire de considérer d'autres hypothèses en donnant à la molécule non seulement une orientation mais aussi une déformation, peut-être la déformation seule suffirait.

Pour enlever toute espèce de doute sur les résultats de mes premières expériences et pour répondre d'une manière efficace à toutes les objections qui pourraient être faites à leur sujet, je me propose de les reprendre en employant un champ magnétique rigoureusement uniforme et en prenant une forme de vase supprimant toute force d'orientation, et d'étudier ainsi la contraction de volume en fonction du champ magnétique.

Dans ce but, j'emploierai une bobine à plusieurs couches de fil pouvant supporter jusqu'à 30 ampères pendant un temps très court; dans son intérieur et dans la partie où le champ est uniforme sera disposé un grand réservoir contenant la dissolution du sel de fer.

Pour observer la contraction, j'utiliserai le levier optique : une petite portion de la paroi du réservoir sera remplacée par une petite feuille de caoutchouc, sur laquelle s'appuiera l'extrémité de la courte branche d'un levier à bras inégaux. Si le rapport de ces branches est de $\frac{1}{100}$ on pourra observer un déplacement de $\frac{1}{15000}$ de mm.

La détermination de la variation réelle de capacité du réservoir renfermant le liquide, se fera en le remplissant avec de l'eau distillée ou avec de l'air et répétant l'expérience dans ces conditions.

II. Variation de la résistivité

Les expériences ont porté sur des fils de fer, des fils de nickel et sur des solutions de sulfate ferreux, de perchlorure de fer et de sulfate de nickel

Le dispositif expérimental était le suivant : le fil de fer soumis à l'expérience était enroulé sur une bobine plate en une seule ou plusieurs couches séparées et isolées par de la paraffine, laquelle couvrait toute cette bobine d'une couche assez épaisse (de 5 mm) et mettait le fil de fer à l'abri de toute variation brusque de température provenant du dehors.

Cette bobine de fil de fer était disposée entre les pièces polaires d'un fort électro-aimant de Faraday. On mesurait sa résistance électrique à l'aide d'une boîte Elliott en pont, et, l'équilibre du pont étant atteint, on excitait le champ magnétique dans l'électro-aimant; l'équilibre était rompu dans le pont, on le rétablissait en introduisant d'autres résistances : on mesurait donc seulement la variation de résistance, laquelle était ainsi indépendante de toute erreur systématique due au dispositif expérimental.

Voici quelques-uns des résultats obtenus :

Un fil de fer doux de 0,6 mm de diamètre et d'une certaine longueur, avait, à 18° C, une résistance de

2,206 ohms.

La résistance totale du circuit, y compris les fils de connexion, jusqu'à la boîte, était de

2,964 ohms.

En excitant le champ magnétique, cette résistance est devenue

2,9695 ohms.

En augmentant la valeur du champ magnétique, elle a pris la valeur

2,970 ohms.

Après suppression du champ magnétique, elle est devenue.

2,9641 ohms.

Rétablissant le champ magnétique, mais renversé de sens, on a trouvé

2,9671 ohms.

On voit qu'en renversant le sens de l'aimantation le phénomène reste le même; donc il est indépendant du sens du champ magné-

tique, résultat qui découle de ce que toutes ces modifications étant dues au travail d'aimantation, elles dépendent du carré du champ magnétique.

Remplaçant le fil de fer par du fil de cuivre enroulé sur une bobine identique et disposé identiquement dans les mêmes conditions, on n'obtint aucune modification de la résistance électrique lorsqu'on excita l'électro-aimant.

Revenant de nouveau au fil de fer, on a trouvé pour sa résistance

2,9645 ohms;

en produisant le plus grand champ magnétique (4 000 unités C. G. S.) de l'électro-aimant pour cette distance des pièces polaires, cette résistance est devenue :

2,9712 ohms.

Il résulte de ces chiffres que la plus grande variation de l'unité de résistance dans ces expériences (aimantation longitudinale) et pour cet échantillon de fer est :

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{340}.$$

Pour un autre fil de fer doux de 0,15 mm de diamètre enroulé autour d'une plaque d'ébonite de 2 mm d'épaisseur, 5 cm de large et 6 cm de long, couverte d'une couche suffisante de paraffine, la plus grande variation $\frac{\Delta R}{R}$ dans le champ magnétique (aimantation transversale) a été

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{1116}.$$

Avec un fil de fer de 0,7 mm étamé et couvert d'un guipage de coton, enroulé sur une plaque d'ébonite de 6 cm de long, autant de large et 3 mm d'épaisseur, suivant quatre couches bien isolées et couvertes de paraffine, cette bobine étant disposée de sorte que les fils se trouvent aimantés suivant leur plus grande longueur, on a trouvé :

Résistance du fil.	10,71	ohms
Résistance du circuit total. . . .	11,545	»
Après excitation du champ . . .	11,573	»
Après suppression du courant. .	11,543	»
Après renversement du courant .	11,574	»

On déduit de ces chiffres :

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{396}.$$

Pour un autre fil de fer de 0,6 on a obtenu

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{420}.$$

Dans une expérience faite sur un fil de fer de 0,45 mm formant deux couches bien couvertes de paraffine, on déterminait le champ magnétique lorsque le fil de fer ne se trouvait pas entre les pièces polaires de l'électro-aimant. La valeur du champ après introduction du fil de fer n'était donc connue qu'approximativement.

Le tableau I contient les résultats; les nombres de la première colonne, précédés de l'abréviation Ch. M. sont les valeurs de la résistance trouvées pendant que le courant circulait dans l'électro-aimant.

Si on construit la courbe en portant les valeurs $\frac{\Delta R}{R}$ en abscisses et le champ magné-

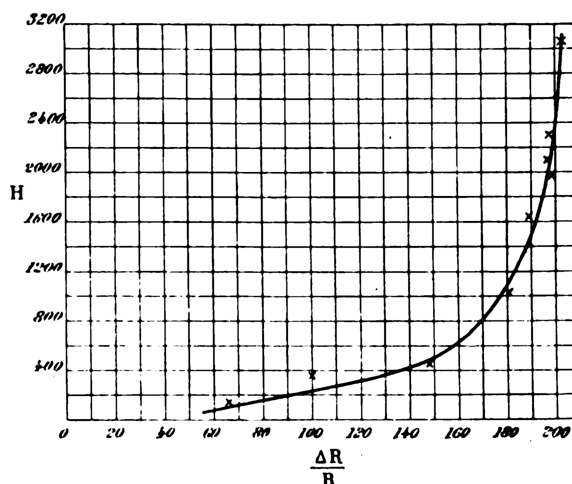


Fig 1. — Courbe de la variation de la résistivité du fer en fonction du champ magnétique

tique évalué en unités C. G. S. en ordonnée, on obtient une branche presque d'hyperbole (fig. 1) rappelant la portion de la courbe

d'aimantation au voisinage de son point d'inflexion.

TABLEAU I

RÉSISTANCE en ohms.	CHAMP magnétique en unités C.G.S.	VALEURS de $\frac{\Delta R}{R}$.
5,548 Ch. M. 5,560 5,549	= 3045	$\frac{1}{580}$ = 0,00208
5,549 Ch. M. 5,559 5,548	= 1890	$\frac{1}{628}$ = 0,00188
5,544 5,537 Ch. M. 5,554 5,547	= 1650	$\frac{1}{554}$ = 0,00189
5,527 Ch. M. 5,537 5,525	= 2300	$\frac{1}{503}$ = 0,00197
5,494 Ch. M. 5,5022 5,4942 Ch. M. 5,5021	= 460	$\frac{1}{677}$ = 0,00147
5,4930 Ch. M. 5,5026 5,4924 Ch. M. 5,5022 5,4920	= 1020	$\frac{1}{550}$ = 0,00181
5,483 Ch. M. 5,4886 5,483 Ch. M. 5,4884	= 360	$\frac{1}{1000}$ = 0,00100
5,4824 Ch. M. 5,4860 5,4824 Ch. M. 5,4864	= 130	$\frac{1}{1500}$ = 0,00066

Mais les nombres trouvés sont, comme je l'ai dit, très approximatifs et de plus dépendent de l'échantillon de fer employé; pour avoir des corps homogènes j'ai dû avoir recours à des solutions de sulfate de protoxyde de fer. Cette substance se trouvait enfermée dans un tube de verre T plusieurs fois recourbé sur lui-même. On mesurait sa résistance par la méthode de la différence de potentiel à l'aide de l'électromètre capillaire de Lippmann; la figure 2 nous montre la disposition expérimentale employée.

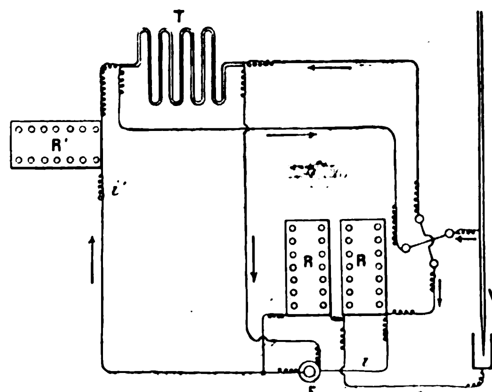


Fig. 2. — Disposition expérimentale adoptée pour la mesure des différences de potentiel.

L'électromètre capillaire permettant d'apprécier le dix millième de volt, il eût été possible, avec cette disposition, de mesurer une variation de la résistance de la solution de 1/100 de sa valeur. En effet la résistance $R'+x$ du circuit contenant cette dissolution était égale à R, soit 10000 ohms; par suite l'intensité i' du courant était

$$i' = \frac{E}{R'+x} = \frac{1 \text{ volt}}{10\,000 \text{ ohms}} = 0{,}0001 \text{ ampère}$$

et la différence de potentiel entre les extrémités de la résistance liquide dont la valeur x était voisine de 100 ohms, était

$$100 \times 0{,}0001 = 0{,}01 \text{ volt},$$

soit 100 fois plus grande que la différence de potentiel pouvant être appréciée par l'électromètre.

Expérimentalement, pour les plus forts champs magnétiques on n'obtint aucune variation sensible.

Ceci ne prouve pas que les solutions magnétiques ne changent pas de résistance dans les champs magnétiques forts. Avec un autre

dispositif expérimental pouvant accuser de plus petites variations, par exemple $\frac{1}{400}$, comme dans le cas des fils de fer, nous aurions peut-être constaté ces augmentations de résistivité.

On observe que dans les expériences avec les fils de fer, comme aussi avec les fils de nickel, la résistivité augmente, comme si les molécules s'opposaient au passage de l'électricité. Il y aurait intérêt à faire les mêmes expériences pour les ferro-nickels.

D. Hurmuzescu
Professeur à l'Université de Jassy.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Nouveau transformateur à haute tension

Par Wydts et de Rochefort.

A la dernière séance de la Société des Ingénieurs civils, M. O. de Rochefort présentait un nouveau transformateur, imaginé par M. Wydts et lui, et destiné à remplacer la bobine de Ruhmkorff dans ses diverses applications de laboratoire et principalement pour la production des rayons Rœntgen.

M. de Rochefort fait d'abord ressortir les défauts et inconvénients de la bobine : 1° Mauvais rendement, l'énergie du courant secondaire n'étant guère que le cinquième de l'énergie fournie au primaire ; 2° Construction coûteuse, tant à cause du prix élevé et du poids des matériaux employés, qu'à cause de la main d'œuvre nécessaire pour enrouler les fils, dont la longueur est de plusieurs kilomètres ; 3° Délicatesse de l'instrument qui se détériore facilement avec le temps par fendillement de l'isolant ou oxydation du fil ; 4° Poids très élevé rendant les transports dangereux et coûteux.

Les recherches de MM. Wydts et de Rochefort leur ont montré que la principale difficulté à vaincre, pour supprimer ou diminuer les inconvénients précédents, était de trouver un isolant convenable. Les isolants solides, le verre par exemple, sont facilement traversés par des effluves qui deviennent avec le temps de plus en plus importants, la résistance d'isolement diminuant par suite d'un changement d'état moléculaire dû à l'action des effluves. Les isolants liquides offrent l'avantage que l'isolement se rétablit de lui-même quand il a été supprimé par le passage d'une étincelle entre les parties métalliques de l'appareil, mais il s'y produit des courants de convection qui produisent des pertes et peuvent, comme l'ont montré les essais, abaisser de 9 dixièmes le rendement.

Un isolant visqueux résout la question, pourvu néanmoins qu'il ne s'y forme pas de particules conductrices (généralement de carbure, l'isolant étant un carbure) qui, maintenues en supension, font perdre à la substance ses qualités d'isolement. Ce dépôt a pu être évité par un choix des constituants de l'isolant [1].

Après ces considérations, M. de Rochefort passe à la description de la disposition qu'il a adoptée :

Dans le transformateur (fig. 1), l'inducteur est le même que dans une bobine de Ruhmkorff ; il se compose d'un noyau de fer doux *d*, autour duquel s'enroule une double couche de gros fil de cuivre *e e'* qui aboutit aux deux bornes *a* et *a'* du courant primaire. Un tube *f* isolant entoure le faisceau inducteur.

L'induit est composé d'une seule bobine *g* comportant 600 grammes de fil de cuivre de 0,16 mm de diamètre. On peut également employer plusieurs bobines placées parallèle-

[1] D'après le brevet français, n° 265 728, pris le 6 avril 1897, cet isolant est constitué par une dissolution de paraffine dans du pétrole chaud, dissolution qui se prend en gelée semi-solide par refroidissement.

ment et connectées en tension. Ces bobines, enroulées suivant le procédé ordinaire, sont ensuite immergées pendant vingt-quatre heures dans une dissolution chaude de paraffine dans le pétrole, en proportions variables ;

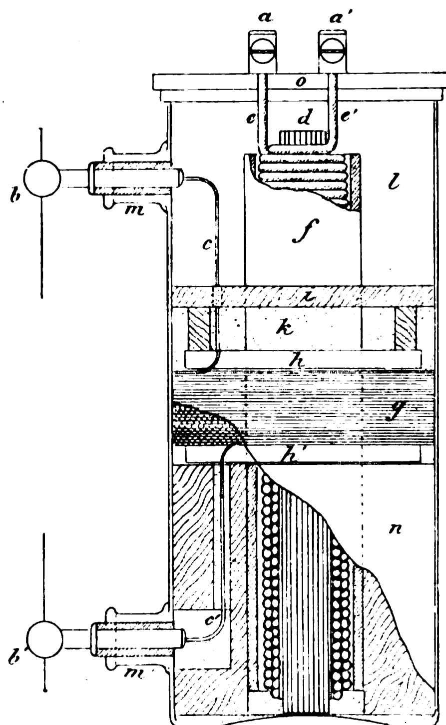


Fig. 1. — Transformateur à haute tension Wydts et de Rochefort.

après refroidissement dans le bain, elles sont mises en place.

Cette bobine induite est placée dans la région médiane de l'induit, soutenue en dessous par un bloc de bois sur lequel elle repose, séparée par deux tubes de verre *h'*. Au dessus, un bouchon de bois *i* muni de deux tasseaux, repose sur la bobine induite au moyen de deux tubes de verre *h*.

Les deux extrémités de l'induit sont reliées aux deux bornes secondaires *b* et *b'* placées dans les bouchons des deux tubulures *m* et *m'* du vase de verre, dans lequel le tout est placé verticalement.

Le vase de verre est rempli d'un isolant carburé pâteux.

L'appareil ainsi construit donne 20 à 25 centimètres d'étincelles avec 5 volts et 4 ampères, soit 20 watts.

L'induit de la bobine de Ruhmkorff donnant la même tension serait composé de 50 à 60 galettes, ou bobines plates, accouplées en tension et séparées par des cloisons solides isolantes. Le poids dn fil de l'induit serait de 5 à 6 kilogrammes. Le nombre de watts employés serait de 150 environ.

Cet appareil ayant un induit à très faible résistance donne un bon rendement en intensité et, à tension égale, supérieur à la bobine Ruhmkorff correspondante.

Comme, sous une même tension, l'émission des rayons X croît avec l'intensité du courant secondaire, l'appareil donne d'excellents résultats pour la production de ces rayons.

Le condensateur n'a rien de particulier.

Le trembleur employé est du genre Foucault ; la vitesse, la distance de l'électro à l'armature et le niveau du mercure sont réglables.

Le platine, dont la consommation devient onéreuse lorsqu'il s'agit d'expériences de quelque durée, est complètement supprimé dans cet appareil.

Remarques sur les induits à trous et les induits dentés ;

Par Lionel Fleischmann.

Les articles publiés dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* par M. Dolivo Dobrowolsky et M. H. du Bois [1] sur l'absence d'effort tangentiel sur les conducteurs des induits dentés ou à trous ont été l'objet de quelques remarques, dont la plus intéressante est celle de M. Lionel Fleischmann [2].

Cet auteur fait observer que l'effort électromagnétique s'exerçant entre l'induit et l'inducteur a son siège à chaque instant sur les

(1) *L'Éclairage Électrique*, du 16 octobre 1897, p. 133 et 136.

(2) *Electrotechnische Zeitschrift*, du 26 août 1897, lettre à la rédaction, p. 534.

dents de l'induit qui sont situées entre les pièces polaires des inducteurs.

Considérons en effet une dynamo fonctionnant comme moteur. On sait qu'un circuit traversé par un courant et placé dans un champ magnétique tend toujours à s'orienter de façon que le flux qui traverse le circuit soit maximum, c'est-à-dire de façon que l'énergie potentielle du système soit maxima.

L'énergie potentielle de l'induit est déterminée par l'inducteur et le courant induit ; cette quantité est constante car pour tout déplacement infiniment petit de l'induit, ni le flux total inducteur, ni le courant induit ne varient.

Toutefois les dents, qui quittent le champ ou qui y entrent, indiquent une variation de l'énergie potentielle magnétique. Si on partage l'induit en éléments infiniment petits de volume, l'effort qui s'exerce sur chacun des éléments sera égal à la variation de l'énergie potentielle pour un déplacement infiniment petit de l'induit.

Le flux traversant chaque élément situé sous les pièces polaires restant le même, l'effort sur l'élément correspondant sera nul. Pour les éléments situés au contraire entre les pièces polaires la variation du flux ne sera pas nulle; l'effort s'exerce donc bien seulement sur les dents qui éprouvent une variation de flux pour un déplacement de l'induit, c'est-à-dire sur celles comprises à l'extérieur des pièces polaires.

M. Baumgardt, dans une lettre adressée à la rédaction (1), reproche à la démonstration de M. du Bois de ne pas s'appliquer au cas des induits à trous ouverts le long d'une génératrice. Si l'on pratique une fente suivant l'une des génératrices du cylindre de du Bois de façon que le plan passant par cette fente et l'axe du cylindre soit parallèle à la direction du champ extérieur, le flux créé par le courant traversant le conducteur est considérablement diminué tandis que l'intensité du champ à l'intérieur du tube reste sensiblement la même.

D'après M. Baumgardt, le raisonnement de M. du Bois conduirait à admettre à la fois que l'effort est considérablement diminué par suite de la diminution du flux propre produit par le conducteur, et qu'il est resté sensiblement le même par le fait de la variation du champ à l'intérieur du tube. J. R.

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift* du 2 septembre 1897, p. 543.

Méthode de détermination du compoundage des dynamos ;

Par L. Fleischmann (1).

La méthode habituelle pour déterminer l'enroulement compound d'une machine à courant continu, consiste à observer le nombre d'ampères-tours à pleine charge et à en déduire l'excitation nécessaire pour produire la force électromotrice normale à circuit ouvert; la différence indique le nombre d'ampères-tours du compoundage. Cette méthode exige l'emploi d'un moteur de puissance suffisante pour fournir la charge normale de la dynamo. Si, pour essayer de grosses machines, on ne dispose que d'une petite force motrice, on peut faire usage de la méthode suivante, analogue à celle indiquée par Kapp pour l'essai des alternateurs et des transformateurs. Elle repose sur cette remarque que la chute de potentiel et la réaction d'induit ne dépendent que de l'intensité du courant et non de la différence de potentiel ; un courant de court circuit possédant l'intensité normale est donc équivalent, à ce point de vue, au courant de pleine charge.

On fait tourner la machine à la vitesse normale, on ferme l'induit sur un ampèremètre et on amène l'excitation à la valeur nécessaire pour que le courant circulant dans l'induit ait l'intensité normale. Connaissant l'intensité d'excitation dans ces conditions et le nombre de spires de l'inducteur, on cal-

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 28 octobre 1897.

cule comme suit le nombre d'ampères-tours nécessaires pour le compoundage.

La courbe d'aimantation de la machine (voltage à circuit ouvert en fonction de l'excitation) indique le nombre d'ampères-tours produisant la force électromotrice du courant de court circuit. En déduisant cette excitation de celle observée, on obtient le nombre d'ampères-tours à affecter à la compensation de la réaction d'induit. On cherche ensuite sur la courbe l'excitation correspondant à la force électromotrice à pleine charge et on y ajoute les ampères-tours compensant la réaction d'induit; le résultat donne l'excitation totale à pleine charge et, par suite, le compoundage. On donne, dans certains cas, à ce dernier, une valeur un peu plus élevée pour tenir compte des fuites magnétiques qui augmentent avec la saturation. A. H.

Sur les facteurs qui déterminent le rendement de l'arc alternatif;

Par W. Beckit Burnie [1].

L'auteur s'est proposé d'apporter de nouveaux faits expérimentaux à l'étude de la relation entre le rendement de l'arc alternatif et la forme de la courbe du courant. Le principe de la disposition expérimentale consiste à faire tourner synchroniquement avec le courant un disque percé d'une fente qui vient, une fois par période et à une phase déterminée du courant, en coïncidence avec une fente pratiquée dans un disque fixe. Le faisceau lumineux qui passe à travers les deux fentes au moment de leur coïncidence est reçu tantôt sur un photomètre tantôt sur un bolomètre, instruments qui servent à mesurer les valeurs instantanées de l'intensité lumineuse et de la chaleur rayonnante totale.

La lampe à arc à régulateur Ganz peut être déplacée verticalement dans deux glissières fixes (fig. 1) qui portent un dispositif de deux miroirs permettant de renvoyer horizontalement les rayons émis sous un angle quel-

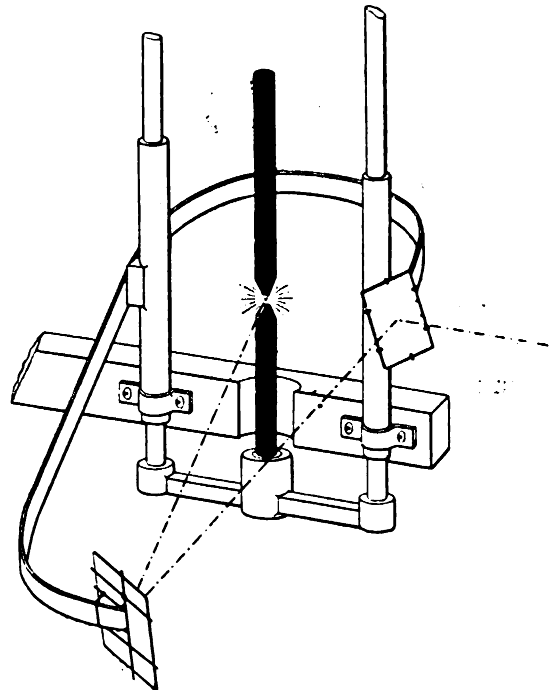


Fig. 1. — Disposition des miroirs.

conque avec l'horizontale. A cet effet, le bras recourbé qui porte les deux miroirs est mobile sur deux pivots fixés sur les glissières, et l'arc se trouve sur la ligne joignant les pivots. A mesure de l'usure des charbons, la lampe est remontée, avant chaque lecture, à l'aide d'une corde passant sut une poulie.

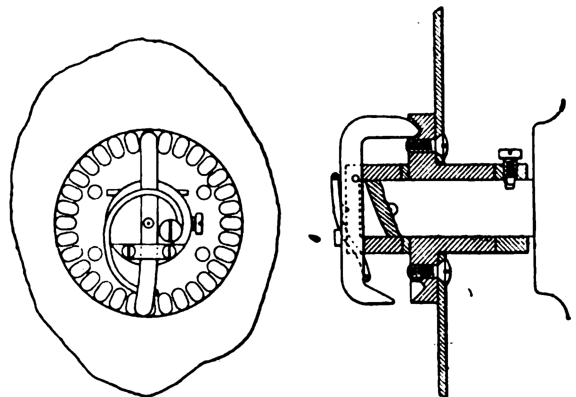


Fig. 2. — Dispositif employé pour décaler le disque mobile.

Pour faire varier d'un angle connu la phase de la coïncidence des fentes fixe et mobile, on se sert du dispositif représenté par la figure 2.

[1] *The Electrician*, 22 octobre 1897. Travail fait au Polytechnikum de Zurich.

L'extrémité de l'arbre du moteur synchrone d'Oerlikon qui sert à actionner le disque est munie d'une pièce portant un petit arbre auxiliaire prolongeant l'arbre principal. Le disque est vissé sur un manchon fou sur l'arbre auxiliaire. Ce manchon présente latéralement près de sa circonférence 32 cavités qui servent au calage du disque dans autant de positions angulaires différentes. Dans ce but, un levier deux fois coudé qui pivote dans un plan axial autour d'un point excentrique a son extrémité supérieure engagée dans une des cavités, où elle est maintenue par la pression d'un ressort. Le disque est ainsi rendu solidaire de l'arbre et tourne avec lui. Pour faire varier le calage du disque de la distance angulaire comprise entre deux cavités successives, et ce sans arrêter le moteur, il suffit d'appuyer sur le point du levier qui se trouve dans le prolongement de l'axe. L'extrémité supérieure se dégage alors de la cavité, mais l'extrémité inférieure s'étant simultanément avancée dans une cavité ne permet qu'un décalage juste suffisant pour que le levier abandonné à lui-même tombe par son extrémité supérieure dans la cavité suivante.

Un photomètre Bunsen était fixé très près du disque tournant, et pour les mesures on faisait varier l'éloignement de la lampe à huile servant d'étalon.

Les bolomètres consistaient chacun en quatre bandes d'étain parallèles reliées en série ; l'ensemble avait 6 cm de longueur sur 1,8 cm de largeur. Les bolomètres étaient fixés à l'aide de résine sur des cadres en fibre et recouverts de noir de lampe. Ils étaient placés dans une boîte en bois plaquée de laiton poli et séparés par une feuille de cuivre noircie. Pour éviter l'action du courant d'air engendré par le moteur, une ouverture rectangulaire pratiquée dans le couvercle en papier blanc de la boîte était recouverte d'une feuille de mica de 0,02 mm d'épaisseur. La boîte était placée à une distance telle du disque tournant que l'image de la fente couvrait entièrement la fenêtre rectangulaire et en dépassait les bords d'environ 1,5 mm. Cette largeur servait de repère pour régler la hauteur de l'arc.

Un obturateur permettait d'amener le galvanomètre du bolomètre au repos ; en ouvrant ensuite cet obturateur, on faisait arriver la lumière sur le bolomètre et on observait la première élongation du galvanomètre. Cette mesure était faite après une lecture au photomètre, qui était ensuite enlevé et remplacé par le bolomètre.

Les courbes de la différence de potentiel et du courant étaient déterminées à l'aide d'un contact de Joubert disposé sur l'arbre. Le courant était mesuré par la différence de potentiel aux bornes d'une résistance non inductive intercalée dans le circuit de l'arc. Les différences de potentiel instantanées étaient recueillies par un condensateur et mesurées au galvanomètre balistique.

La radiation calorifique était mesurée dans la direction du maximum de l'intensité lumineuse de l'arc; cette région est la plus avantageuse dans ces mesures comparatives, puisque la variation de l'intensité y est minima pour une variation donnée de l'angle. Mais il fallait s'assurer que les directions des maxima calorifique et lumineux coïncidaient. C'est en effet ce qui a lieu, comme le mon-

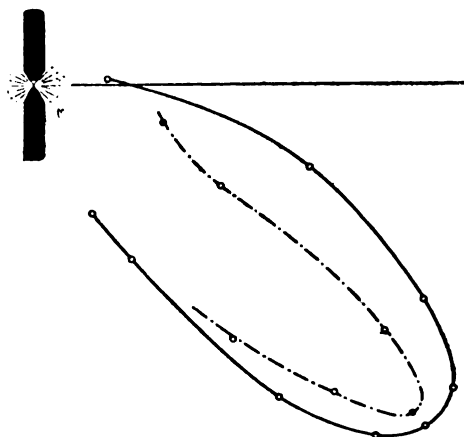


Fig. 3. — Distribution des radiations lumineuses (ligne ponctuée) et thermiques (ligne pleine).

trent les figures 3 et 4, résultats des expériences faites avec des charbons pleins et des charbons à mèche. La courbe du courant avait très approximativement la forme d'une

sinusoïde, et la fréquence était à 50 périodes par seconde. Dans l'expérience avec des charbons pleins, dont la figure 3 donne le résultat, le courant était de 14,8 ampères et la longueur de l'arc de 5 mm. Avec les charbons à mèche (fig. 4), l'arc avait 3 mm et le cou-

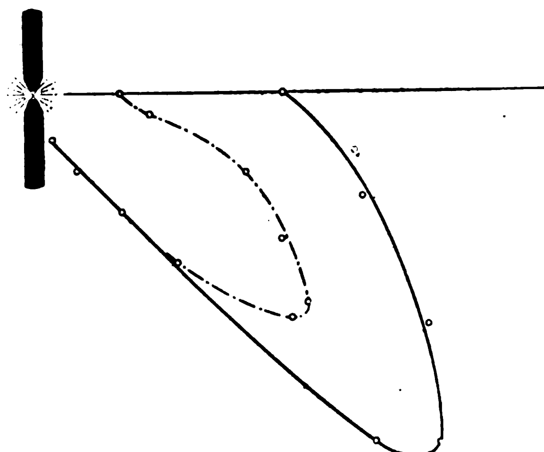


Fig. 4. — Distribution des charbons à mèche.

rant 13,6 ampères. Le diamètre des crayons était dans les deux cas de 11 mm.

Pour se rendre compte de l'origine de la chaleur mesurée, qui peut provenir du cratère où elle est engendrée et des autres parties chauffées par conduction, l'auteur a fait deux lectures successives au bolomètre : la première, comme d'habitude, après une demi-heure de fonctionnement de l'arc, la seconde en coupant le circuit de l'arc au moment même de l'ouverture de l'obturateur du bolomètre. Avec les charbons pleins, la seconde lecture était de 73,2 p. 100 moins grande que la première, et de 82,2 p. 100 avec les charbons à mèche. L'auteur en conclut que la plus grande partie de la chaleur doit provenir du cratère, cette partie pouvant seule se refroidir instantanément.

Dans toutes les expériences, trois déterminations au bolomètre et deux au photomètre ont été faites pour chaque point des courbes. La première détermination a été celle de la courbe de la différence de potentiel (fig. 5), lorsque le moteur tournait à vide avec un courant d'excitation de 2,9 ampères, intensité qui a été maintenue aussi pendant les expériences dont les figures 6*a*, 6*b*, 7*a*, 7*b*

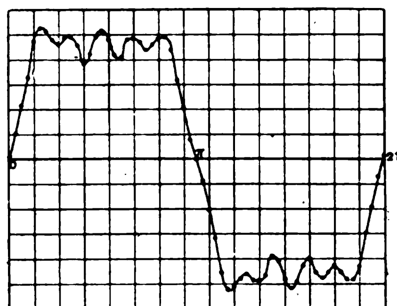


Fig. 5. — Courbe de la différence de potentiel.

donnent les résultats. Voici les détails de ces expériences :

Charbons pleins, fig. 6a et 6b.

Intensité efficace.	14,8 ampères.
Longueur de l'arc	5 mm
Fréquence.	50 pér par seconde.
Rapport des intensités calorifiques, max. et min. . .	1,14
Rapport des intensités lumineuses, max. et min . . .	1,75

Charbons à mèche, fig. 7a et 7b.

Intensité efficace.	13,6 ampères.
Longueur de l'arc	3 mm.
Fréquence.	50 pér par seconde.
Rapport des intensités calorifiques, max et min . . .	1,32
Rapport des intensités lumineuses, max. et min. . .	3,14

On remarque que l'arc déforme la courbe du courant d'une manière très accentuée ; d'une courbe de différence de potentiel à sommets aplatis, il fait une courbe de courant très pointue. Le professeur Weber dit avoir trouvé ce fait invariablement confirmé ; M. Frith a observé une déformation dans le sens contraire, la fréquence qu'il employait était de 75 périodes par seconde. Les deux genres de déformation peuvent s'expliquer en partant de l'hypothèse d'une force contre-électromotrice variable avec la température et en considérant des vitesses de refroidissement plus ou moins grandes pendant l'extinction.

Pour aplatir la courbe du courant, l'auteur a inséré une plus grande résistance dans

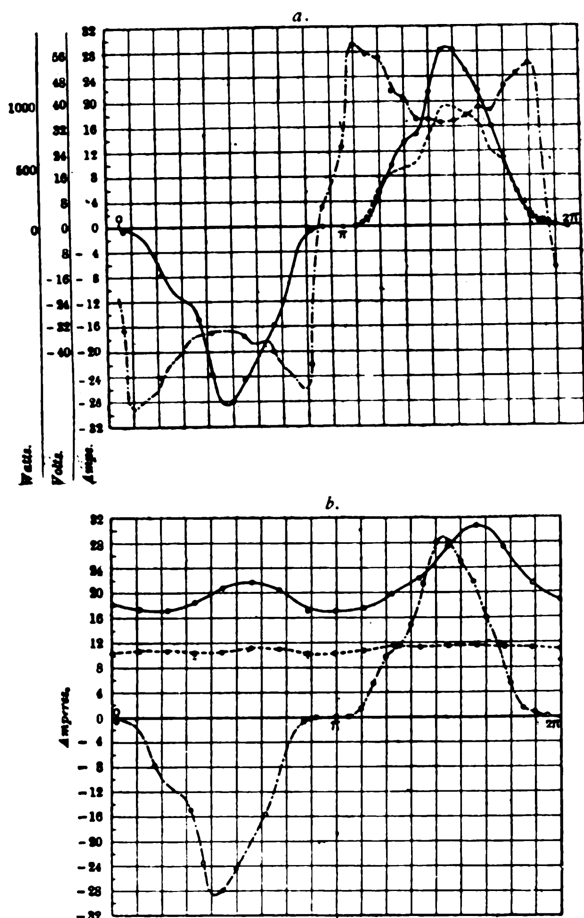


Fig. 6. — Charbons pleins.

6 *a* —— Intensité du courant. .—.— Différence de potentiel. ...... Puissance.
6 *b* —— Intensité lumineuse. .—.— Intensité du courant. ...... Quantité de chaleur.

le circuit de l'arc et employé un plus grand courant d'excitation. Deux expériences, dont les résultats sont indiqués par les figures 8*a*, 8*b*, 9*a*, 9*b*, ont été faites dans les conditions suivantes :

Charbons pleins, fig. 8a et 8b.

Intensité efficace.	13,6 ampères.
Longueur de l'arc	5 mm
Fréquence.	50 pér par seconde.
Rapport des intensités calorifiques max. et min. . .	1,51
Rapport des intensités lumineuses max. et min. . .	3.09

Charbons à mèche, fig. 9a et 9b.

Intensité efficace.	12,5 ampères.
Longueur de l'arc	3 mm
Fréquence.	50 pér par secondes.
Rapport des intensités calorifiques max. et min. . .	1,48
Rapport des intensités lumineuses max. et min. . .	2,81

On voit que dans ces différentes expériences les variations du rayonnement calori-

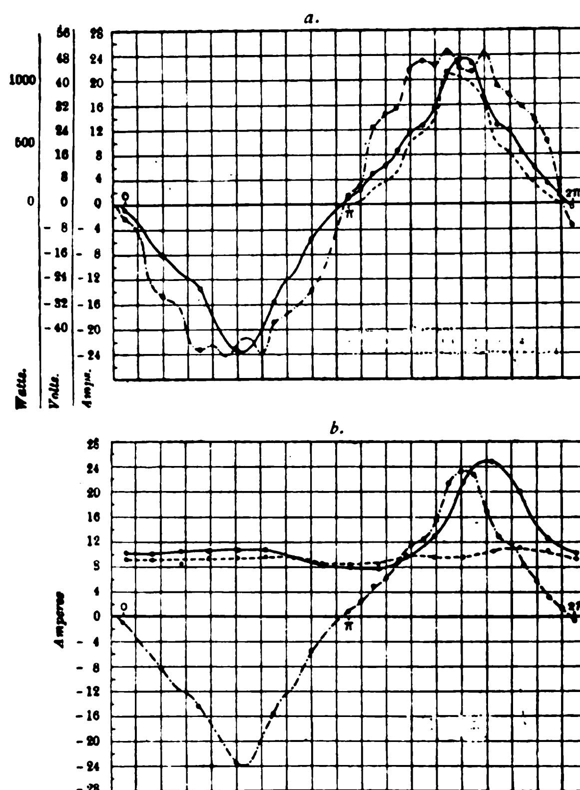


Fig. 7. — Charbons à mèche.

7 *a* —— Intensité du courant. .—.— Différence de potentiel. ...... Puissance.
7 *b* —— Intensité lumineuse. .—.— Intensité du courant. ...... Quantité de chaleur.

fique sont beaucoup moindres que celles du rayonnement lumineux. Or, comme l'énergie rayonnante vient principalement des petites surfaces brillantes des extrémités des crayons, on peut s'expliquer comment se produisent les variations de lumière. Elles peuvent résulter de variations d'étendue ou de changements de température de ces petites surfaces. La première cause ferait varier dans le même rapport la chaleur et la lumière ; ceci

n'étant pas le cas, il s'ensuit que les variations de lumière sont produites par des variations de température des surfaces d'émis-

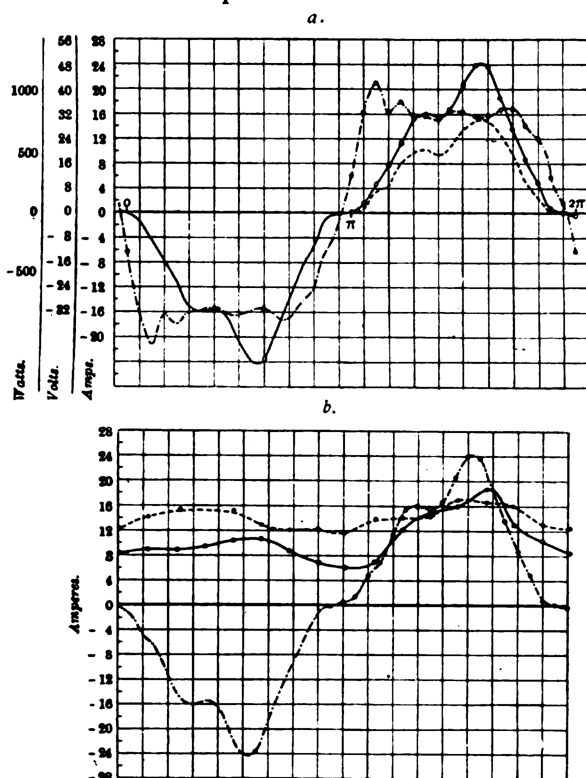


Fig. 8. — Charbons pleins.

8 *a* —— Intensité du courant. .—.— Différence de potentiel. ...... Puissance.

8 *b* —— Intensité lumineuse. .—.-- Intensité du courant. ...... Quantité de chaleur.

sion, lesquelles ne varient pas en étendue. Le rendement de l'arc est donc différent aux différentes phases de chaque période ; ce rendement augmente avec la température et présente un maximum correspondant à la température de volatilisation du charbon.

Pour obtenir le meilleur rendement moyen, il faudrait que le courant s'élève rapidement jusqu'à un maximum immédiatement après son passage par zéro, afin de détruire l'effet du refroidissement et de réchauffer le charbon positif à la température voulue. Puis le courant devrait tomber à une valeur capable de maintenir cette température pendant le

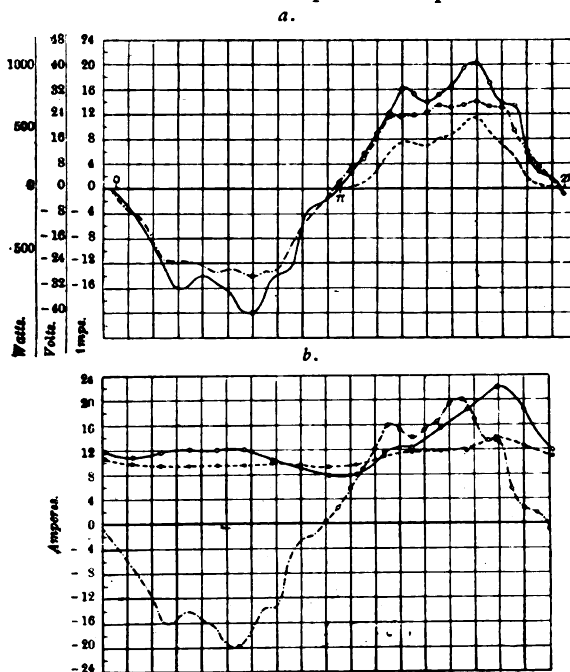


Fig. 9. — Charbons à mèche.

9 *a* —— Intensité du courant. .—.— Différence de potentiel. ...... Puissance.

9 *b* —— Intensité lumineuse. .—,— Intensité du courant. ...... Quantité de chaleur.

reste de la demi-période. Les courbes de courant pratiquement les plus avantageuses seraient donc celles de forme aplatie, qui donneraient à l'arc un meilleur rendement moyen que les courbes pointues. La comparaison des figures 6 *b* et 8 *b* en fournit un exemple.

A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du Mercredi 10 *novembre* 1897.

Les membres de la Société avaient été convoqués en assemblée générale extraordinaire pour décider de questions financières relatives aux travaux d'agrandissement de l'Ecole supérieure d'électricité, 12, rue de Staël. Une telle assemblée doit réunir au moins 100 membres de la Société pour que ses décisions soient valables.

M. Mascart expose les motifs du projet de

résolution soumis à l'assemblée : La Société internationale des électriciens a deux services annexes très importants, le Laboratoire central d'électricité et l'École supérieure d'électricité, qui rendent à l'industrie des services appréciés. Jusqu'à présent, ces deux services n'ont rien coûté à la Société. Les frais entraînés par leur organisation ont été fournis dans les conditions suivantes : 100 000 fr sur le fond de réserve de la Société de garantie de l'exposition de 1881 ; cette dette envers l'État est diminuée tous les ans de 5 000 fr ; les intérêts du surplus de ce fonds de réserve, qui s'élevait à plus de 300 000 fr, alimentent les dépenses annuelles ; ensuite, 100 000 fr furent accordés à la Société sur le legs Giffard ; enfin, 110 000 fr furent recueillis par souscriptions privées. C'est avec ces fonds que les bâtiments de la rue de Staël furent construits et aménagés. Lorsque le développement des services du Laboratoire et surtout de l'École montrèrent, il y a quelques mois, l'urgence d'agrandissements, il ne restait plus que 40 000 fr en caisse ; les travaux projetés et l'achat du matériel ont entraîné une dépense de 100 000 fr ; c'est pour couvrir cet écart que la Société est invitée à voter le projet de résolution suivant :

« L'assemblée donne pouvoir au Comité d'Administration de la Société de contracter un emprunt de 60 000 francs pour les travaux de construction et d'aménagement de l'*École Supérieure d'Électricité*.

« Cet emprunt sera fait sous la forme de bons de 100 francs produisant un intérêt annuel de 3 francs, remboursables par vingtième chaque année.

« La Société conserve la faculté d'anticiper le remboursement de tout ou partie de ces bons à une époque quelconque.

« L'Assemblée donne pouvoir au Comité d'administration pour régler les détails matériels de l'opération d'emprunt. »

L'emprunt est d'ores et déjà garanti par quelques-uns des membres influents de la Société, dans le cas où les souscriptions de l'ensemble des sociétaires seraient insuffisantes.

Les intérêts seront garantis par la Société, mais il est peu probable qu'elle ait à débourser un centime, soit pour les intérêts, soit pour l'amortissement, car les recettes du laboratoire et de l'École sont assez importantes. Ce ne devrait d'ailleurs être qu'une considération secondaire en face des services rendus.

On procède ensuite au vote dont le résultat est donné en fin de séance. Le nombre de membres présents est de 106 ; l'assemblée est donc régulièrement constituée ; la majorité des votes exprimés étant favorable au projet, celui-ci est adopté.

M. Loppé présente ensuite une photographie d'éclair remarquable qui a frappé la tour Eiffel le 31 mai dernier. Nous en reproduirons l'image dans un prochain numéro.

M. Janet présente les travaux d'atelier faits par les élèves de l'École supérieure d'électricité ; on leur apprend à manier la lime et le marteau, le rabot et la scie, afin de les mettre en état de construire eux-mêmes soit les appareils de mesure ou autres, soit les appareils qu'ils pourraient inventer. Plusieurs élèves ont déjà inventé divers appareils qui seront présentés plus tard à la Société.

Dans les premiers temps d'étude, sur douze demi-journées qui composent la semaine, trois sont consacrées aux travaux d'atelier, quatre aux cours et conférences, trois au laboratoire et deux demi-journées de liberté. Ensuite, le temps exigé par les essais de machines est pris sur le temps consacré aux travaux d'atelier.

M. le Dr Foveau de Courmelles décrit ensuite le matériel électrothérapique. Le but de cette communication paraît être surtout de combattre les conclusions de M. Gaiffe, qui a condamné récemment l'emploi du courant fourni par les secteurs pour les usages médicaux, à la suite d'une enquête faite en

Amérique par M. le Dr Cabot. Le conférencier explique que depuis plusieurs années il utilise le courant du secteur Edison et que jusqu'à présent aucun accident mortel n'est survenu... par la faute du secteur.

Comme les médecins, même les électrothérapeutes, paraît-il, ne sont pas de bons électriciens et que les électriciens ignorent quels services l'électricité peut rendre à l'art de guérir, M. Foveau de Courmelles s'offre comme trait d'union entre ces deux classes d'industriels. Il décrit le matériel qu'il a inventé et qui comprend dans un cadre restreint tous les appareils nécessaires pour appliquer le courant continu ou interrompu, à intervalles de temps réguliers, par un mouvement d'horlogerie, l'extra-courant, les courants alternatifs sinusoïdaux, mono, bi ou triphasés, les courants d'induction, etc.; il contient également des rhéostats pour modifier la tension ou l'intensité des courants utilisés, des inverseurs, des indicateurs de pôles, des appareils servant à l'électro-diagnostic et enfin des moteurs servant à opérer des massages, frictions ou tractions rythmiques sur les organes affaiblis ne fonctionnant plus normalement. Le docteur parle encore de l'ozone, des rayons X. Nous ne le suivrons pas dans le développement de sa conférence qui, nous le craignons, n'atteindra pas son but, en ce qui concerne les électriciens tout au moins.

Au début de la séance, M. Violle avait rappelé qu'un comité s'est formé en vue de recueillir les souscriptions destinées à élever un monument sur une place de Turin en l'honneur de l'illustre électricien Gallileo Ferraris, décédé l'année dernière. G. P.

Sur la préparation et les propriétés des borures de calcium, de strontium et de baryum;

Par H. Moissan et P. Williams (1).

Les auteurs essayèrent tout d'abord de préparer le borure de calcium en soumettant à la température du four électrique un mélange intime de bore pur et de chaux; ils obtinrent après refroidissement une masse dure et cassante, laissant après traitement par l'acide chlorhydrique une très petite quantité de borure cristallisé. Le rendement étant très faible, les auteurs essayèrent successivement des mélanges de carbure de calcium et de bore pur, de borate de calcium et de charbon de sucre, de borate et de carbure de calcium; la quantité de borure formée était toujours très petite.

Le procédé auquel ils se sont arrêtés consiste à faire un mélange de 1 000 gr de borate de calcium bien sec, 630 gr d'aluminium en copeaux et 200 gr de charbon de sucre, et à le soumettre, dans un creuset de charbon, à la température d'un four électrique alimenté par un courant de 900 ampères et 45 volts; le borate est réduit par l'aluminium et le charbon empêche la formation d'alumine qu'il est ensuite difficile d'éliminer. Les culots obtenus sont traités par l'acide chlorhydrique étendu, puis l'acide bouillant et concentré, ensuite le résidu cristallin est traité par l'éther, le toluène, l'acide fluorhydrique chaud; on obtient enfin une poudre cristalline renfermant encore un peu de graphite et de borure de carbone.

Le même procédé s'applique à la préparation des borures de baryum et de strontium.

Ces trois borures se présentent sous l'aspect d'une poudre noire brillante et cristalline, rayant le cristal de roche et le rubis. Ils sont attaqués par le fluor, plus difficilement par le chlore; ils ne décomposent pas l'eau froide comme les carbures et sont détruits surtout par les oxydants. Les analyses de ces corps conduisent à leur attribuer la formule BO^6R.

Sur la reproduction du diamant;

Par Quirino Majorana (1).

Dès que l'on sût que le diamant n'était pas

(1) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 629, séance du 9 novembre 1897.

(1) *Rendiconti del R. Accademia dei Lincei*, vol. VI, p. 1, 15 août 1897.

autre chose que du carbone pur, les tentatives faites en vue de le reproduire furent nombreuses. Mais on n'avait encore obtenu aucun résultat avant M. Moissan. La méthode de ce savant consiste à faire subir à un morceau de carbone une pression et un échauffement considérables. Le carbone amorphe est alors transformé partiellement en graphite et en diamant. Les expériences exécutées jusqu'à ce jour par cette méthode ne permettent pas d'affirmer que la dissolution du carbone dans le métal qui l'entoure n'est pas indispensable. Le présent travail a été entrepris afin de montrer que la pression et la chaleur seules suffisent.

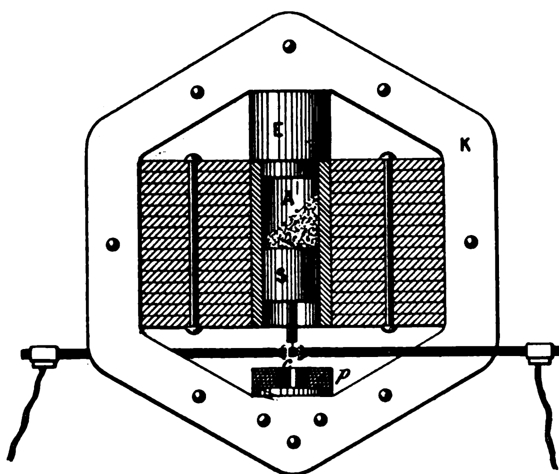


Fig. 1.

L'appareil employé est le suivant : une chambre cylindrique A est fermée hermétiquement à la partie supérieure par une pièce de fer E et à la partie inférieure par un piston S. Les parois de cette cavité cylindrique sont en acier dur et sont renforcées au moyen de 15 anneaux de fer de 1 cm d'épaisseur, réunis par des boulons. Un collier hexagonal K, formé aussi de lames de fer boulonnées, entoure tout le système. Le piston S porte un petit cylindre d'acier doux de 1 cm de diamètre, auquel est fixé le morceau de carbone C (2 gr environ). Au-dessous, une pièce métallique *p*, formée aussi de lames de fer superposées, présente une cavité centrale capable de recevoir le carbone quand le piston s'abaisse.

Le carbone est échauffé au moyen d'un arc électrique de 25 ampères sous 100 volts.

Pour le comprimer, on fait détoner dans la chambre A 70 gr de poudre de tir. Le piston est repoussé et vient écraser le carbone dans la cavité de *p*. Le petit cylindre qui porte ce carbone a une section bien inférieure à celle du piston, aussi la pression exercée sur le carbone est elle considérable.

Après l'expérience, le carbone est rassemblé, réduit en menus morceaux, puis traité par la méthode de M. Berthelot, modifiée par M. Moissan. On se débarrasse ainsi du carbone amorphe non transformé, du graphite produit et des impuretés. Dans le résidu, on sépare les parties les plus denses au moyen du bromoforme et de l'iodoforme. Ces dernières particules examinées au microscope sont en partie noires, mais elles présentent des faces réfléchissantes; quelques-unes sont transparentes et semblent douées d'un grand pouvoir réfringent. Elles rayent le rubis; quelques-unes ont des pointements cubiques, d'autres ont un aspect mamelonné.

La résistance aux acides, la densité, la dureté, la structure cristalline des produits obtenus sont les propriétés du vrai diamant. Enfin, ces produits brûlent dans l'oxygène entre 700° et 900° avec les mêmes particularités que le diamant.

Ainsi, la compression et la chaleur seules permettent la transformation du carbone amorphe en graphite et en diamant.

G. G.

Sur l'absorption des rayons Rœntgen;

Par W. J. HUMPHREYS [1].

L'auteur a recherché si l'absorption des rayons Rœntgen par un corps composé dépend seulement de la nature des éléments qui le composent et des proportions dans lesquelles ces éléments entrent dans sa cons-

[1] *Phil. Mag.*, t. XLIV, p. 401-404, novembre 1897.

titution, ou si elle dépend de la manière dont ces éléments sont groupés ; en d'autres termes, si l'absorption dépend de la structure moléculaire de la substance ou de la structure atomique.

Pour les rayons lumineux il est évident, comme le fait remarquer l'auteur, que la transparence ou l'opacité d'une substance composée ne peut être déduite des propriétés que possèdent sous ce rapport ses constituants ; d'ailleurs les différentes formes allotropiques d'un même élément possèdent souvent des propriétés fort diverses : il suffit de citer deux des formes allotropiques du carbone, le graphite et le diamant, la première opaque, la seconde transparente pour la lumière. L'absorption des rayons lumineux paraît donc être un phénomène moléculaire.

Au contraire, des travaux de l'auteur et de ceux de quelques autres physiciens, il semble résulter que l'absorption des rayons Rœntgen est un phénomène atomique, sinon entièrement, du moins en grande partie, et qu'il est possible de déduire l'opacité d'un composé de l'opacité de ses composants.

La disposition expérimentale employée par M. Humphreys était la suivante : au-dessus d'une plaque photographique enfermée dans un châssis était disposée une épaisse lame de plomb percée de deux fenêtres rondes de 1 cm de diamètre et distantes de 2 cm ; l'une de celles-ci était recouverte d'une lame d'une substance (combinaison binaire ou alliage de deux métaux) ; sur l'autre étaient placées deux lames des constituants de la substance. Les épaisseurs de ces dernières lames étaient calculées comme il suit : soit C la substance composée des éléments A et B, soient d sa densité et e l'épaisseur de la lame, soient enfin a le poids de A entrant dans l'unité de poids de C et d' la densité de cet élément ; l'épaisseur e' de la plaque correspondante satisfait à la relation $a\,d\,e = d'\,e'$. Au-dessus de la lame de plomb et à égale distance des deux fenêtres était placé le tube producteur de rayons X.

Les expériences ont porté sur les substances suivantes : Blende ZnS, stibine SbS, chalcocite CuS, galène PbS, alliage des miroirs (68 Cu et 32 Sn), régulus de Vénus (58 Cu et 42 Sb), bronze d'aluminium (92,5 Cu et 7,5 Al), laiton (65 Cu et 35 Zn). Dans tous les cas l'auteur a obtenu des clichés photographiques ayant exactement la même intensité dans les régions atteintes par les rayons ayant traversé l'une ou l'autre fenêtre : l'absorption ne dépend donc pas de la façon dont les constituants sont unis.

L'auteur a également vérifié, pour un très grand nombre de corps, que si tous les éléments d'un corps sont opaques ou transparents aux rayons Rœntgen, le corps est lui-même opaque ou transparent. J. B.

Expériences sur les rayons cathodiques et les rayons de Rœntgen ;

Par J. Precht (1).

I. *Déviation des rayons cathodiques par l'aimant.* — Les rayons cathodiques sont produits, soit dans des tubes sphériques portant une cathode entourée de verre jusqu'à son extrémité qui se trouve au centre de la sphère, soit dans des tubes cylindriques, avec des cathodes également enveloppées et

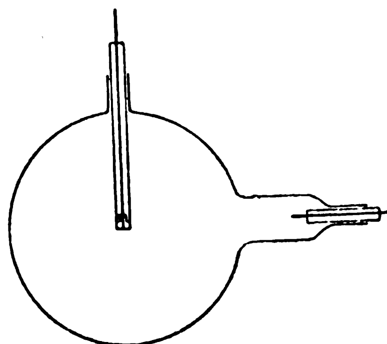


Fig. 1.

dirigées suivant l'axe du cylindre (fig. 1, 2, 3). Dans certaines expériences, l'anode, formée

(1) *Wied. Ann.*, t. LXI, p. 330-362.

d'un cylindre d'aluminium, entoure de près la cathode : le fond antérieur de ce cylindre est à 3 mm seulement de l'extrémité libre de la cathode (fig. 4). Les phénomènes observés sont photographiés, ce qui présente parfois certaines difficultés à cause de la divergence du faisceau cathodique ; pour diminuer cette divergence, on fait entrer la section terminale

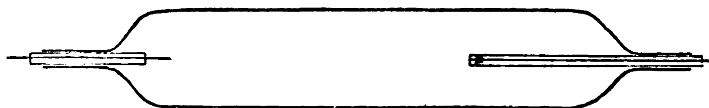


Fig. 2.

de la cathode dans une courte gaîne de stéatite (fig. 1-3). Ensuite les clichés sont améliorés par les méthodes de développement, de renforcement ou de rétrogradation.

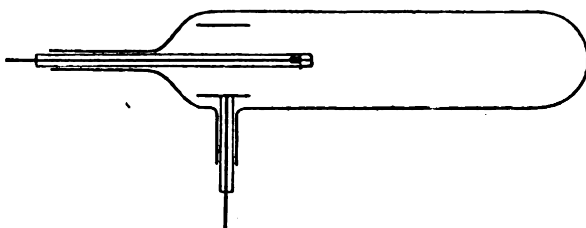


Fig. 3.

Les clichés font voir que les rayons cathodiques s'enroulent en spirale autour de la direction du champ magnétique et que la déviation est conforme, quant au sens, à la règle d'Ampère, si on considère les rayons

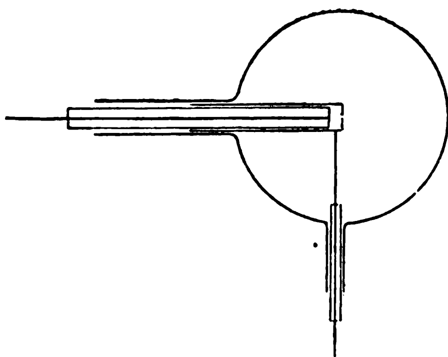


Fig. 4.

cathodiques comme des courants pénétrant à l'intérieur *dans* la cathode. Partout où la direction des rayons cathodiques est normale à la direction des lignes de force du champ, le faisceau forme un anneau autour des lignes de force; si l'angle des deux directions est aigu ou obtus, le faisceau s'enroule en spirale qui se dirige vers le pôle ou s'en éloigne. Comme il est impossible d'obtenir un faisceau de rayons cathodiques dont tous les éléments soient parallèles entre eux (car tout diaphragme devient une cathode secondaire), ces spirales apparaissent dans presque toutes les expériences de déviation. Leur pas devient plus petit quand l'intensité du champ magnétique augmente et elles se resserrent de plus en plus autour de la ligne de force.

Les défauts d'homogénéité du champ peuvent amener de grossières méprises dans l'étude de la déviation. Dans un champ aussi homogène que possible, les rayons qui sont parallèles aux lignes de force continuent leur chemin, les autres s'enroulent autour des premiers. Lorsque la cathode se trouve dans la position équatoriale, la décharge tout entière paraît se faire simplement dans la direction des lignes de force, tandis qu'en général la partie principale de cette décharge forme un anneau autour de cette direction; en réalité, l'anneau est encore là, mais a un diamètre très faible, à cause de l'intensité du champ magnétique et disparaît, à première vue, dans le reste de la masse lumineuse.

Lorsque les rayons cathodiques déviés par l'aimant rencontrent une paroi de verre, le verre devient le point de départ d'un nouveau faisceau cathodique. Ce faisceau est dirigé comme s'il était réfléchi sur une sur face normale aux lignes de force magnétique. Cette partie réfléchie obéit aux forces qui s'exercent entre ses particules et le champ magnétique. C'est pourquoi, dans certaines expériences, apparaît un arc lumineux qui

rebrousse chemin vers la cathode. La présence de cet arc prouve que les rayons incidents forment un angle aigu avec le plan vertical mené par les armatures de l'aimant : en effet si la cathode se trouve dans ce plan, l'arc disparaît parce qu'il se confond avec l'arc incident. On peut voir que dans l'arc réfléchi se trouvent des surfaces hélicoïdales, quand on dispose le tube de manière que l'arc rase la paroi sur une certaine longueur, par l'aspect des taches fluorescentes qui se produisent sur le verre

Les rayons-canaux de Goldstein ne sont pas déviés par le champ magnétique, si intense qu'il soit. Ces rayons suivent donc certainement la loi d'Ampère.

Mais, pour tous les rayons que dévie le champ magnétique, la règle d'Ampère et les conséquences de la loi de Biot et Savart sont satisfaites. Les phénomènes sont d'accord avec l'hypothèse que la partie des rayons cathodiques sensible au champ magnétique est formée de particules chargées négativement ; de la grandeur de ces particules, on peut dire seulement qu'elle est vraisemblablement très petite vis-à-vis de celle que nos théories actuelles assignent aux molécules chimiques ou physiques.

Lorsqu'on fait croître la pression dans le tube à décharges, la sensibilité de la lumière négative à l'égard du champ magnétique diminue ; sous la pression de 15 mm, dans certains tubes, la lumière bleue est devenue insensible, mais cette insensibilité tient surtout à la forme du tube : elle résulte d'une résistance cathodique très forte (résistance que la région obscure offre à la pénétration de la décharge).

En effet, si on fait éclater la décharge dans l'air à la pression ordinaire, entre deux électrodes placées comme dans le tube, perpendiculairement au plan axial d'un fort électro-aimant, la lumière positive et la lumière négative se séparent et cette dernière est déviée comme le seraient les rayons cathodiques.

II. *Propriétés des rayons issus des tubes à décharges.* — Les rayons de Rœntgen ne sont pas identiques aux rayons-canaux de Goldstein, car ceux-ci ne traversent ni le verre ni le papier noir. Les rayons de Rœntgen dont il sera question dans ce qui suit, provenaient d'un tube de Crookes ordinaire, en forme de poire : la cathode est formée d'un disque plan en aluminium (20 mm de diamètre), l'anode d'un disque pareil (10 mm) : la première est normale, la seconde parallèle à l'axe du tube.

Lorsque les tubes fonctionnent, ils éprouvent deux sortes de changements : leur résistance augmente d'une part, et d'autre part, le verre exposé aux rayons cathodiques est transformé et cesse d'être phosphorescent.

Phénomènes de fluorescence. — La fluorescence des diverses substances qui possèdent cette propriété peut être beaucoup influencée par de petites quantités de matières étrangères, comme l'ont constaté déjà plusieurs auteurs.

L'action photographique des rayons Rœntgen s'est trouvée particulièrement intense quand le tube était fermé par une lame de magnésium, d'autant plus que la lame était plus mince. Parmi les plaques photographiques, les plus sensibles sont les plaques au gélatinobromure : leur sensibilité vis-à-vis des rayons de Rœntgen correspond à leur sensibilité vis-à-vis de la lumière, comme l'ont trouvé les frères Lumière.

Les corps fluorescents accélèrent l'action photographique ; surtout le platinocyanure de potassium qui est beaucoup plus transparent que les autres ; mais il a le désavantage d'avoir une structure granuleuse.

L'intensité de la lumière émise par les cristaux fluorescents croît progressivement jusqu'à un maximum et décroît ensuite lentement quand l'irradiation a cessé. Le temps nécessaire pour atteindre le maximum diffère naturellement d'un cristal à l'autre.

Les uns deviennent presque tout de suite luminescents, les autres seulement au bout de quelques minutes : dans ce dernier cas, la luminescence met aussi plus de temps à dis-

paraître. Dans les corps qui sont seulement fluorescents et qui cessent de luire dès que l'irradiation a cessé, il peut arriver au contraire qu'ils ne s'illuminent que plusieurs secondes après que l'irradiation a commencé. Par exemple, si on interpose la main entre un tube et un écran de platinocyanure de baryum ou de calcium, on voit apparaître d'abord l'ombre de la main entière, puis la chair devient de plus en plus claire jusqu'à ce que les os ressortent complètement. Le phénomène n'est pas subjectif, car il est le même quand l'observateur ouvre les yeux seulement quelques instants après que la main a été interposée; il ne tient pas non plus aux changements d'activité du tube, car on peut faire la même observation lorsque le tube a déjà fonctionné quelque temps. On ne l'observe pas avec tous les tubes et il se montre de préférence lorsque le courant est faible. Certainement il ne résulte pas d'un mouvement ondulatoire, car il n'y a aucune raison pour que la transparence d'un corps change, quand il n'éprouve pas de transformation chimique.

L'auteur a comparé, au point de vue de la transparence, un certain nombre de minéraux: la transparence de la tourmaline, sous une même épaisseur, varie notablement avec la provenance; la struvite est très transparente même sous une forte épaisseur ; au contraire la calamine (silicate de zinc) est presque opaque en comparaison de l'émeraude et de la topaze.

Les rayons de Rœntgen ne possèdent pas, comme les rayons cathodiques et les rayons de décharge la propriété de colorer les sels [1]. Mais ils abaissent la résistance du sélénium comme les rayons lumineux (de 32 p. 100 dans les présentes expériences, tandis que la lumière diffuse du jour donne 65 p. 100).

Avec les prismes de cuivre et d'acier, la réfraction est très faible, si elle existe, et l'indice de réfraction ne peut différer de l'unité de plus de $\pm 0,0003$. Mais avec les prismes de verre et d'aragonite, la déviation était nette et changeait de sens quand on retournait le prisme : elle n'est donc pas due aux erreurs d'expérience; seulement elle peut résulter de l'absorption croissante vers la base du prisme. L'indice correspondant serait de 1,002 à 1,004.

Diffraction des rayons de Rœntgen. — De nombreux essais faits sur des réseaux de fils de platine sont restés sans résultat. En partant de l'idée que les franges observées par différents expérimentateurs, quand les bords des fentes sont épais, provenaient de la réflexion des rayons rasant les bords, M. Precht a cherché à favoriser cette réflexion. Dans les premières expériences, la tranche d'une lame de plomb, épaisse de 2 mm, se trouve devant une fente très fine, à bords tranchants, et derrière cette fente est placée la plaque sensible. Les rayons rasent la lame de plomb, passent par la fente et arrivent sur la plaque, sur laquelle on obtient ainsi deux plages contiguës, l'une irradiée, l'autre pas du tout A la limite des deux plages apparaissent des franges d'interférence très nettes. En comparant la distance de ces franges à celle des franges obtenues dans les mêmes conditions avec la lumière du sodium, on trouve pour la longueur d'onde des rayons de Rœntgen, dans deux expériences absolument indépendantes, 349 et $367,10^{-6}$ mm.

Dans d'autres expériences où les rayons traversaient deux fentes, les franges n'apparaissent que si on place dans le faisceau sortant de la seconde fente un miroir argenté; mais elles ne sont jamais très nettes, car même aux places des minima et dans la région de l'ombre géométrique, la plaque photographique est altérée. Cette altération provient sans doute des rayons se propageant par diffusion et aussi de ce que chaque corps rencontré par les rayons de Rœntgen devient un centre d'émission pour des radiations qui se propagent dans toutes les directions. D'après la distance des franges, la longueur d'onde serait 784 ou $883,10^{-6}$ mm.

La figure 5 représente la radiographie d'une

[1] GOLDSTEIN. *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 80.

aiguille fine placée devant un diaphragme de plomb percé d'un trou très fin, par lequel passent les rayons. Dans le milieu de l'image, sur le négatif, se trouve une ligne noire,

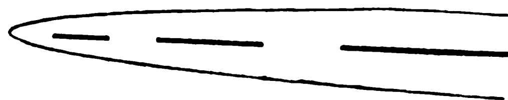


Fig. 5.

interrompue en deux points. L'auteur attribue ces alternatives de clair et obscur à l'interférence des rayons qui passent à travers l'aiguille même et de ceux qui sont diffractés sur sa périphérie. Si on applique à cette expérience les mêmes calculs qu'aux expériences sur les ondes lumineuses, on trouve $\lambda = 16{,}10^{-6}$ mm. M. L.

Conductibilité électrolytique des gaz raréfiés ;

Par E. Wiedemann et G.-C. Schmidt [1].

La source d'électricité employée par M. Wiedeman et Schmidt est une batterie d'accumulateurs comprenant 1 000 éléments ; le circuit renferme des résistances d'iodure de cadmium dans l'alcool amylique, un commutateur, un voltamètre à sel d'argent, un tube à décharges et un galvanomètre. Un électromètre de Braun permet de contrôler de temps à autre la force électromotrice de la batterie.

Gaz chlorhydrique. — Le gaz, débarrassé autant que possible d'humidité et de chlore libre, arrive dans le tube à décharges, lequel est long de 10 cm et large de 2 cm. Les électrodes sont formées par des fils de platine ; de la région de l'anode part un tube qui aboutit au-dessus du mercure contenu dans une ampoule, et de la région de la cathode pareillement. Pendant l'expérience, on chauffe légèrement le mercure, de manière à faciliter l'absorption du chlore. Le mercure est à la fin de l'expérience dissous dans l'acide azotique étendu et tiède et on pèse le chlorure mercureux qui reste ; on peut aussi doser le chlore à l'état de chlorure de sodium après avoir transformé le chlorure mercureux par une dissolution de soude.

Au cours de ces expériences, les auteurs ont étudié le spectre du gaz chlorhydrique. En tant que combinaison, ce gaz donne dans la décharge positive une large bande de 573 à 486 μμ, la décharge a un aspect bleuâtre et on voit à la cathode presque exclusivement le spectre du chlore. Lorsque le courant est faible et le gaz abondant, on observe un spectre cannelé.

Le tableau ci-dessous donne dans la colonne 1 le poids d'argent déposé dans le voltamètre qui est intercalé dans le circuit, dans la colonne 2 la quantité de chlore, calculée d'après la loi de Faraday, qui doit être mise en liberté à l'anode ; sous 3 et 4 figurent les quantités réellement mises en liberté à l'anode et à la cathode ; sous 5 et 6 la portion de la quantité théorique séparée à l'anode et en tout :

	1	2	3	4	5	6
HCl + 10 p. 100 Az . . .	0,0309	»	»	»	»	»
HCl + 5 » Az . .	0,0336	»	»	»	»	»
HCl.	0,022	0,0073	trace	trace	»	»
HCl.	0,068	0,023	»	»	»	»
HCl.	0,1230	0,041	0,0127	0,0085	0,31	0,53

Comme on le voit, la décomposition ne suit nullement les lois de Faraday.

Composés haloïdes du mercure. — Les sels sont placés dans un tube à décharges long de 15 cm, large de 2,5 cm, qui est étranglé en son milieu sur une longueur de 2,5 cm. Auprès

---

[1] *Wied. Ann.*, t. LXI. p. 737-747.

des deux électrodes sont soudés des tubes de verre assez larges qui conduisent à la pompe. Du côté de l'anode, le tube renferme deux spirales d'argent destinées à retenir le chlore. Le tube est enfermé dans une boîte de fer chauffée. La quantité d'halogène mis en liberté à la cathode ne dépasse pas 6 p. 100 de la quantité théorique, calculée d'après la loi de Faraday.

	Argent dans le voltam.	Hologène calculé.	Hologène trouvé.	Rapport
$HgCl_2$. .	0,1168	0,0389	0,0016	4,1 p. 100
$HgBr^2$. .	0,1200	0,0888	0,0030	3,8 »
HgI^2. . .	0,010	0,0117	0,0000	0,0 »
HgI^2. . .	0,092	0,1082	0,0061	6 »

Ces mesures ne confirment donc nullement l'hypothèse que la conductibilité des gaz raréfiés est une conductibilité électrolytique.

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Jahrbuch der Elektrochemie, troisième année; par W. Nernst et W. Borchers, *W. Knapp*, éditeur, Halle-s.-Saale.

Le troisième volume de cet annuaire rend compte des progrès accomplis en électrochimie pendant l'année 1896. Comme les années précédentes, le Dr Nernst en a élaboré la partie théorique et le Dr Borchers la partie technique; les auteurs ont toutefois eu recours cette année à la collaboration des professeurs Elbs, pour les chapitres relatifs à la production de l'énergie électrique par les piles, aux accumulateurs et aux composés organiques, et Kuester, pour la partie concernant les progrès de l'analyse électrique.

Ce volume présente par rapport aux précédents une notable augmentation du nombre de pages; c'est que le nombre des procédés nouveaux, sinon des perfectionnements réels, va tous les ans en croissant, et le travail de compilation que les auteurs ont entrepris doit suivre cette marche ascendante. Pour éviter toute lacune qui pourrait devenir importante par la suite, cet annuaire décrit en effet toutes les propositions récentes dont l'absurdité n'est pas évidente de prime abord, même ceux d'entre les travaux scientifiques ou techniques dont une longue pratique seule pourra faire apprécier la valeur.

Dans ces conditions, toute discussion approfondie est exclue du programme, mais quoique les auteurs s'excusent dans leur préface de la réserve qui leur est imposée, ils ne laissent pas, dans certains passages, que d'exercer une critique, parfois acerbe même, lorsqu'elle est manifestée seulement par un point d'exclamation. Exemple : Acheson s'est fait breveter un procédé de fabrication du graphite consistant à porter à haute température, dans un four électrique, un mélange de coke et de sable; il se forme du carbure de silicium qui, à une température encore plus élevée, se décompose en laissant le charbon sous forme de graphite. Il est certain qu'il n'y a là rien d'imprévu, cette propriété du carbone de prendre à haute température l'état moléculaire du graphite ayant été démontrée il y a un demi-siècle par Depretz, et appliquée industriellement par Girard et Street par exemple [1], et de ce qu'Acheson ait pu obtenir un brevet en donnant une nouvelle explication de ce phénomène, les auteurs concluent qu'il s'agit là d'une « hypothèse brevetée ». Plus loin, ils s'interdisent même de parler de la réduction de l'oxyde de manganèse opérée par Moissan au four électrique, par la raison que la réductibilité de cet oxyde est depuis longtemps établie.

Le bien ou mal fondé de cette attitude dépend évidemment du point de vue auquel on se place; mais si les auteurs, dont la compétence n'est pas contestée, voulaient faire montre de pareille intransigeance à propos de tous les sujets traités, leur volume annuel se trouverait sensiblement écourté. On constate heureusement que la plus grande partie de l'ouvrage est empreinte d'un plus large éclectisme.

Dans la partie théorique, le Dr Nernst rend compte des travaux récents sur la dissociation électrolytique, la théorie des piles, les méthodes et instruments de mesures applicables en électrochimie et sur les mesure de constantes diélectriques: il constate, par les formes multiples données à

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 454.

l'enseignement de l'électrochimie, au moins en Allemagne, le vif intérêt que suscite cette branche de plus en plus importante des applications électriques. Le chapitre relatif aux progrès de l'analyse électrolytique, par M. Kuester, aurait pu être plus complet. Toute cette partie contient des observations de laboratoire directement utilisables en pratique, comme par exemple le fait qu'on peut éviter les dépôts métalliques spongieux en employant des courants intermittents ou alternatifs dissymétriques.

La seconde partie : Applications, est une compilation bien ordonnée d'une foule de travaux et de brevets ; ce journal en a publié un grand nombre, ce qui nous dispense d'insister. Notons, à propos des piles et des accumulateurs, la pénurie d'idées nouvelles. On ne trouve guère que quelques nouvelles dispositions mécaniques des électrodes, des vases et de la circulation de l'électrolyte. Quant à la nature de ce dernier, peu de modifications sont signalées et parmi elles, quelques propositions plutôt cocasses. C'est ainsi qu'un inventeur propose de modérer l'action des acides dans les piles en les additionnant d'extrait d'eucalyptus, et, pour compenser la perte de chaleur due à l'atténuation de la réaction, d'entourer l'électrode de zinc d'une substance organique dégageant de la chaleur. La nature de cette substance organique n'est pas indiquée, mais les auteurs se demandent s'il ne s'agirait pas tout simplement de fumier ! Plus intéressants sont les essais de piles à charbon comme électrode soluble ou à gaz combustible, dont quelques-uns sont dus à l'un des auteurs; il en sera donné prochainement un aperçu à nos lecteurs.

En ce qui concerne les accumulateurs, on en reste toujours pratiquement, comme matière active, au plomb et à ses oxydes. Les modifications portent presque uniquement sur la forme des supports de la matière active. Ce chapitre montre aussi qu'on étudie toujours activement les réactions chimiques complexes dont l'accumulateur au plomb est le siège.

L'ouvrage se termine par un chapitre contenant d'utiles indications sur les électrodes, diaphragmes et autres organes essentiels des appareils électrolytiques.

Chacun des chapitres étant accompagné d'une liste complète de brevets allemands, anglais et américains, cet annuaire d'électrochimie forme actuellement le répertoire le plus complet à l'usage d'un public très nombreux, puisque sur ce domaine, d'un développement industriel déjà si considérable, l'électricien se rencontre avec le chimiste.

A. Hess.

CORRESPONDANCE

Effort exercé sur le fer dans les induits dentés.

La commmunication faite par M. Mordey à l'Institution of Electrical Engineers et notamment son expérience relative à l'effort exercé sur le cuivre des induits dentés, ont déjà suscité de nombreuses discussions. Il nous semble cependant que, dans les conditions spéciales où M. Mordey s'était placé pour cette expérience, le résultat auquel il est arrivé était évident à priori.

On sait en effet que les lignes de force tendent toujours à se raccourcir tout en se repoussant entre elles; de plus, les efforts qu'elles engendrent ont toujours un point d'application tel que le mouvement produit de ce fait ait pour résultat de satisfaire les propriétés précitées.

Partant de là, considérons deux spires de cuivre traversées par un courant et placées, comme l'indique la figure 1, dans laquelle les croix représentent les courants qui s'éloignent, et les points

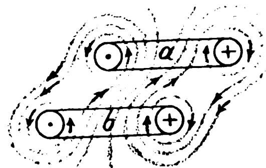


Fig. 1.

ceux qui se rapprochent de l'observateur. La majeure partie des lignes de force sera déviée de manière à traverser successivement les deux spires; or, il est clair que pour réduire le plus possible la longueur de ces lignes de force, les deux spires devraient être amenées à se confondre.

L'effort engendré par ces lignes sera donc appliqué au cuivre même des deux spires dont le déplacement peut seul en diminuer la longueur, et cet effort tendra à amener les deux spires à coïncider.

Supposons que nous introduisions maintenant à l'intérieur de la spire *a*, par exemple, un noyau de fer, les lignes de force se répartiront comme l'indique la figure 2; or, un léger déplacement de

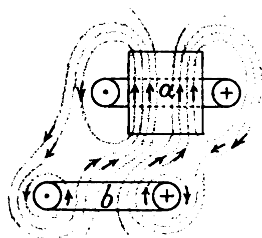


Fig. 2.

la spire *a*, soit parallèlement, soit perpendiculairement à l'axe du noyau, ne changera rien à la direction, et partant à la longueur des lignes de force, tandis que le déplacement soit du noyau de fer, soit de la spire *b* dans le sens convenable, en diminuerait la longueur. L'effort engendré sera donc appliqué, d'une part, au noyau de *a*, et d'autre part au cuivre de *b*, et il tendra à amener la spire *b* et la circonférence *cd* du noyau à coïncider. Il est à remarquer d'ailleurs que, dans cette dernière position, il y aura encore un léger effort ayant pour but d'amener les deux spires de cuivre à se confondre; cet effort, provenant uniquement des fuites magnétiques, sera appliqué au cuivre des deux spires, mais sera en général négligeable.

Supposons maintenant que la spire *b* repose sur un barreau de fer, de longueur indéfinie, la spire *a* étant toujours munie de son noyau; si nous déplaçons le barreau parallèlement au plan de la spire *b*, en laissant celle-ci immobile, il est évident que les lignes de force continuant à passer à l'intérieur de *b*, ce déplacement du barreau ne changera rien à la longueur des lignes de force; il n'y aura donc sur le fer aucun effort tendant à le faire mouvoir dans le sens considéré et la force sera comme précédemment appliquée au cuivre de *b*.

Mais si au lieu de placer simplement la spire sur le barreau, nous la supposons, comme dans la figure 3, encastrée dans des rainures suffisamment profondes, la dent ainsi produite constituera un noyau pour la spire *b*, et le raisonnement que nous avons fait pour *a*, quand nous l'avons munie de son noyau, pourra se répéter identiquement ici. Il en résulte donc que les efforts seront appliqués de part et d'autre au fer et non au cuivre.

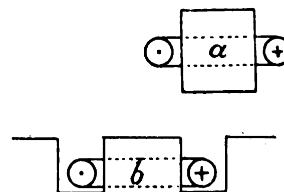


Fig. 3.

Mais on savait depuis longtemps que quand on munit une spire de cuivre d'un noyau de fer, le point d'application de l'effort passe du cuivre au fer, car il est bien évident, par exemple, que dans un moteur synchrone à inducteurs tournants, ce sont les noyaux inducteurs qui entraînent les bobines et non celles-ci qui poussent les noyaux. Or, M. Mordey ayant choisi pour son expérience un alternateur monophasé, les courants circulant dans deux rainures voisines étaient de direction opposée et les conditions ainsi réalisées concordaient absolument avec celles de la spire *b* considérée plus haut. Il n'y avait donc pas lieu de s'étonner de voir se produire pour l'induit un phénomène que l'on avait depuis longtemps déjà constaté pour les inducteurs, et ce résultat pouvait, ainsi que nous le disions plus haut, être considéré comme évident à priori.

Il n'en est plus de même dans le cas des induits dentés à courant continu, car dans ceux-ci, sur toute une moitié de l'anneau, les courants à l'intérieur des rainures sont tous de même sens. Cependant, en se basant sur les considérations étudiées plus haut, l'explication en est encore facile à donner.

Examinons d'abord une armature à noyau lisse. Le passage du courant dans les fils a pour résultat de faire dévier les lignes de force venant des pièces polaires. Or, admettons que nous puissions faire tourner le fer de l'induit à l'intérieur des fils en laissant ces derniers immobiles; il est évident que le noyau induit étant complètement symétrique, sa rotation, en négligeant les effets de l'hystérésis, ne changerait en rien la longueur des lignes de force; il n'y aura donc pas d'effort appliqué sur le fer pour le faire tourner. Au contraire, le déplacement des fils dans le sens convenable réduirait la longueur de ces lignes; il en résulte donc que l'effort sera appliqué aux fils induits

dont le déplacement pourrait seul permettre aux lignes de force de se raccourcir, si ces fils n'étaient incessamment remplacés par d'autres sur lesquels s'exercera le même effort.

Considérons maintenant un induit denté. Lorsqu'aucun courant ne traverse les fils induits, les lignes de force se répartissent régulièrement sur les diverses dents en présence. Tout déplacement du fer n'aurait donc pour effet que de raccourcir une partie des lignes de force en allongeant les autres; mais par suite de la symétrie dans la répartition de ces lignes, ces efforts se neutraliseront et aucune force ne sollicitera l'induit à tourner.

Supposons maintenant que nous fassions passer un courant dans l'induit; chaque fil engendrera dans le fer qui l'entoure un flux de force qui se fermera par-dessus la rainure à travers l'entrefer. Il en résultera donc que dans la figure 4, par

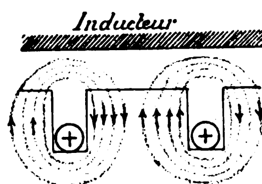
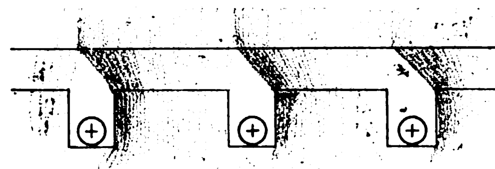


Fig. 4.

exemple, la moitié gauche de la dent sera traversée par des lignes de force allant vers le bas, c'est-à-dire ayant dans ce cas la même direction que les lignes de force venant de l'inducteur, tandis que la moitié droite de la dent sera traversée par des lignes de force allant vers le haut et de direction opposée à celles engendrées par l'inducteur. La répartition du flux dans la dent deviendra donc dissymétrique, le flux sera renforcé dans la partie gauche de la dent et affaibli dans la partie droite. Or le flux engendré par chaque fil induit pouvant être considéré comme sensiblement proportionnel à l'intensité du courant qui le traverse, il en sera de même de la dissymétrie qui en est le résultat. En d'autres termes, on peut admettre que le passage du courant dans les fils induits a pour effet de refouler le flux inducteur d'un seul côté de la dent, comme le montre la figure 5, et cela d'une manière d'autant plus énergique que le courant induit est lui-même plus intense.

Il en résulte que les efforts ne se neutraliseront plus comme dans le cas de l'absence du courant. La majeure partie des lignes de force étant reportée d'un seul côté de la dent, le déplacement de l'induit dans le sens convenable engendrera le raccourcissement d'un grand nombre de lignes de force, tout en ne produisant d'autre part que


Fig. 5.

l'allongement d'un nombre de lignes beaucoup plus faible. Il y aura donc rotation de l'induit et l'effort appliqué sera d'autant plus énergique que la dissymétrie sera plus grande, c'est-à-dire que le courant induit sera lui-même plus intense, ainsi que nous l'avons vu plus haut. Voyons maintenant si cet effort sera appliqué sur le cuivre ou sur le fer.

Pour cela, supposons les rainures assez larges pour que nous puissions à l'intérieur y déplacer le fil en laissant le fer immobile. Ce déplacement du fil ne modifiera ni la direction ni la longueur des lignes de force, puisque le flux engendré par le courant induit est sensiblement indépendant de la position de celui-ci dans la rainure; ce ne sera donc pas sur le cuivre que sera appliqué l'effort. Si, au contraire, nous faisons tourner le fer dans le sens convenable, nous produisons, ainsi que nous l'avons vu plus haut, le raccourcissement de la majeure partie des lignes de force; c'est donc sur le fer que sera appliqué l'effort, mais, comme celui-ci, dans son mouvement de rotation, entraîne avec lui le fil induit, il s'ensuit que le mouvement se continuera indéfiniment.

Paul Desombre,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

D'autre part, un de nos lecteurs nous communique sur ce même sujet les observations suivantes :

A en juger par la compétence et le nombre des électriciens qui prennent part à cette discussion sur l'effort exercé sur le cuivre dans les induits dentés, on serait tenté de croire que le point litigieux soit à la base même de la théorie admise du magnétisme. S'il en est ainsi, je ne me hasarderai pas à émettre une opinion quelconque. Mais s'il s'agit seulement du mode d'interprétation dans un

cas particulier de la théorie basée sur la conception des lignes de force, nous pouvons essayer de tirer la chose au clair en appliquant les lois connues.

Prenons le cas d'un long cylindre couvert d'un enroulement uniforme, lequel, lorsqu'il est traversé par un courant, produit une induction $\mathfrak{B}$ dans un entrefer très étroit obtenu en fendant le cylindre normalement. On sait que l'effort résultant exercé entre les deux moitiés du cylindre mécaniquement solidaire de son enroulement a pour expression :

$$F = \frac{1}{8\pi}\mathfrak{B}^2 s,$$

s étant la section du cylindre.

Sous cette forme, l'expression ne renseigne pas sur les points d'application des composantes de l'effort ; mais il nous est facile de faire les parts respectives du noyau de fer et de l'enroulement en nous rappelant que

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{H} + 4\pi\mathfrak{J}.$$

La force totale est alors exprimée par

$$F = \left(\frac{\mathfrak{H}^2}{8\pi} + \mathfrak{H}\mathfrak{J} + 2\pi\mathfrak{J}^2\right)s.$$

Le premier terme $\frac{\mathfrak{H}^2}{8\pi}s$ exprime l'attraction mutuelle entre les deux moitiés de l'enroulement de part et d'autre du plan de l'entrefer ; le deuxième terme $\mathfrak{H}\mathfrak{J}s$ donne la valeur de l'attraction entre chaque moitié de l'enroulement et la moitié opposée du noyau de fer ; enfin, le dernier terme $2\pi\mathfrak{J}^2 s$ se rapporte à la force avec laquelle s'attirent mutuellement les deux moitiés du noyau.

Or, en génétal, $\mathfrak{J}$ étant beaucoup plus grand que $\mathfrak{H}$, le premier terme est petit devant le deuxième, et celui-ci est lui-même petit par rapport au dernier. Il en résulte que la presque totalité de l'effort est supportée par le fer.

On montre ainsi très simplement la différence d'ordre de grandeur qui doit exister entre les parts de l'effort total revenant aux noyaux de fer et aux enroulements.

CHRONIQUE

La consommation des moteurs à gaz pauvre. — M. Thwaite donne, dans *The Electrical Review* (Londres) du 5 novembre, les résultats d'essais récents faits sur un de ses générateurs à gaz pauvre d'une capacité de 300 chevaux.

Dans ces générateurs l'air injecté est préalablement échauffé par les gaz chauds s'échappant du moteur. Les analyses des gaz sortant du générateur soumis aux essais ont fourni les résultats indiqués dans le tableau suivant, la colonne A se rapportant au cas où l'appareil est alimenté de coke seul et la colonne B au cas où l'on emploie un mélange de coke et de charbon bitumineux.

	A.	B.
Gaz carbonique CO^2	3,4	5,1
Oxyde de carbone CO	27,8	24,0
Hydrogène H	5,5	7,4
Gaz des marais CH^4	1,9	1,3
Azote Az	61,4	62,4

En alimentant au moyen de ces gaz un moteur Hartley et Petyt de 133 chevaux, on a constaté une consommation par cheval-heure indiqué de 3 m³ environ, soit une consommation de combustible solide de 420 gr. En pesant avec soin le combustible consommé dans l'usine pendant une semaine entière, on a trouvé une dépense de 47 kg par heure de travail, la puissance développée étant en moyenne de 70 à 80 chevaux indiqués ; il résulte de ces derniers chiffres que la dépense réelle, en tenant compte du combustible usé pendant les heures où l'usine ne fonctionnait pas (heures de la nuit, après-midi du samedi et journée entière du dimanche), a été d'environ 650 gr par cheval-heure indiqué produit.

En calculant la quantité de chaleur qu'est capable de donner la combustion des gaz sortant du gazomètre et celle qu'est capable de développer le combustible solide qui les a fournis, on trouve que la première est les 81 centièmes de la dernière, mais comme 9 p. 100 de celle-ci sont récupérés par l'échauffement de l'air, par les gaz d'échappement du moteur servant à la combustion, M. Thwaite en conclut que le rendement de son générateur est de 90 p. 100. Quant à l'énergie emmagasinée dans les gaz chauds du générateur,

elle se répartit comme il suit, les chiffres indiquant les centièmes de l'énergie calorifique du combustible solide :

Chaleur convertie en travail	18,5
Chaleur absorbée par l'eau de refroidissement du cylindre.	44,5
Chaleur contenue dans les gaz d'échappement	18,0
	81

Le rendement du moteur lui-même se déduit facilement de ces chiffres; on a en effet pour ce rendement :

$$\frac{18,5 \times 100}{81,0} = 22,8 \text{ p. } 100.$$

Les pertes dues aux transformateurs dans les distributions à courants alternatifs. — Lorsqu'il s'agit de transmettre l'énergie à grande distance au moyen de l'électricité, on fait toujours valoir en faveur des courants alternatifs l'excellent rendement des transformateurs destinés à abaisser ou augmenter le potentiel de ces courants. Si ces transformateurs fonctionnaient constamment à pleine charge, la perte ne serait guère en effet que de 3 p. 100 à chaque transformation ; mais en fait il n'en est pas ainsi, du moins très rarement, et les pertes peuvent devenir énormes lorsqu'il y a de nombreux transformateurs constamment branchés sur le réseau primaire.

Dans le journal *Polytechnikai Szemle* du 1er septembre, M. Alfred SCHLATTER, le directeur de la grande station centrale à courants alternatifs de Budapest décrite dans *L'Éclairage Électrique* du 16 janvier 1897 (t. X, p. 103), fournit sur ce sujet quelques renseignements des plus intéressants que publiait notre confrère *L'Industrie Electrique* dans son numéro du 25 octobre, et que nous résumerons brièvement.

Les essais ont porté sur des transformateurs de 1, 2,5, 5 et 10 kilowatts; les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau suivant :

PUISSANCE du transformateur en watts.	PERTES PAR EFFET JOULE en p. 100.		PERTES DANS LE FER		RENDEMENTS		
	Primaire.	Secondaire.	en p. 100.	en watts.	A pleine charge.	A demi-charge.	A quart de charge.
1000	1,0	1,0	6,0	65	0,927	0,886	0,800
2500	0,8	1,0	3,6	95	0,948	0,922	0,866
5000	0,6	1,1	3,0	155	0,954	0,934	0,886
10000	0,55	1,0	2,2	230	0,962	0,948	0,913

Si l'on fait, à l'aide de ces données, le calcul de l'énergie absorbée journellement par un transformateur de 1 kilowatt en admettant qu'il fournit un travail journalier correspondant à celui que l'on obtiendrait par une marche à pleine charge de 2 heures, hypothèse que la pratique des stations centrales montre être proche de la vérité, et si l'on ajoute à cette énergie celle qui est absorbée par le compteur placé sur le circuit secondaire à la suite du transformateur, on trouve 1,888 kw-h répartis comme il suit :

Pertes dans le cuivre	0,040
» dans le fer.	1,560
» dans le compteur. . . .	0,288
Total.	1,888

Ainsi donc, pour produire une quantité d'énergie utile de 2000 watts, le système composé d'un transformateur et d'un compteur absorbe 3888 watts; le rendement n'est par conséquent que de 0,515, chiffre beaucoup plus faible que celui que permet d'espérer le bon rendement des transformateurs sous pleine charge.

Pour un système formé d'un transformateur de 2,5 kilowatts et d'un compteur, le rendement calculé de la même manière est un peu meilleur ; il atteint 0,652. En supposant qu'un transformateur de 5 kilowatts alimente deux branchements et que par suite deux compteurs soient placés sur son secondaire, on trouve un rendement journalier de 0,692. Ce rendement atteint 0,75 pour un transformateur de 10 kilowatts en admettant trois compteurs branchés sur lui.

On voit que dans tous les cas la perte est considérable ; aussi plusieurs palliatifs ont-ils été pro-

posés. L'un, le plus répandu, consiste à installer une station transformatrice de laquelle part un réseau de distribution important et qui possède plusieurs transformateurs que l'on accouple lorsque le besoin s'en fait sentir, mais toujours de façon que la charge de chacun d'eux soit voisine de la pleine charge. Cette disposition a l'inconvénient de compliquer l'installation sans d'ailleurs donner la plus grande économie exigible.

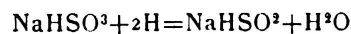
Le meilleur procédé consiste évidemment dans la mise hors circuit de tout transformateur non en charge; malheureusement ce procédé exige l'emploi d'un interrupteur automatique pour chaque transformateur, et jusqu'ici, malgré de nombreuses tentatives dont nous avons souvent entretenu nos lecteurs, un interrupteur vraiment pratique était à trouver. M. Schlatter paraît avoir été assez heureux pour le trouver, car depuis plus de dix-huit mois des interrupteurs de son invention dont nous donnerons prochainement la description, sont en service sur le réseau de Budapest.

Gravure et damasquinage électrochimiques. — Dans son dernier numéro, *L'Industrie électrochimique* décrit, d'après le *Zeitschrift für Elektrochemie* (20 septembre 1897), un nouveau procédé dû à M. Rieder pour la gravure en ronde-bosse par voie électro-chimique. Dans ce procédé, le bloc d'acier destiné à la confection d'un coin pour la frappe des médailles est placé sur le relief d'un moulage en plâtre reproduisant l'une des faces de la médaille. Ce moulage de quelques centimètres de hauteur est mis dans un vase contenant un électrolyte approprié, mais en quantité insuffisante pour le recouvrir. L'électrolyte est mis en communication avec le pôle négatif d'une source d'électricité dont le pôle positif est relié au bloc d'acier. Par suite de la capillarité du plâtre le liquide monte peu à peu et, sous l'action de l'électrolyse, l'acier se trouve attaqué aux endroits par lesquels il est en contact avec le moulage ; on conçoit donc qu'après un temps suffisant le bloc d'acier puisse reproduire en creux les reliefs du moule. Toutefois il est nécessaire, pour que l'attaque soit régulière, de nettoyer très souvent le bloc de métal, ce qui exige son enlèvement et sa remise en place très exacte : c'est là la grosse difficulté. De plus on peut craindre que le relief du modelage ne perde de sa netteté, tant par suite de l'humectation du plâtre par l'électrolyte que par suite des remises en place du bloc. Le procédé de M. Rieder paraît donc demander des perfectionnements.

La gravure en taille-douce est beaucoup plus facile à réaliser par voie électrochimique, et depuis longtemps déjà elle s'effectue ainsi. Rappelons qu'il suffit de prendre la plaque à graver comme anode soluble d'un appareil à galvanoplastie : la plaque se creuse aux endroits qui n'ont pas été protégés par nn vernis.

Quant au damasquinage et aux incrustations japonaises, ils s'obtiennent par un procédé analogue. La plaque ou l'objet en cuivre est gravé électrolytiquement, puis placé comme cathode dans un bain de dorure ou d'argenture ; on a ainsi un dépôt d'or ou d'argent dans les cavités seules ; une fois ces dernières remplies, on enlève la couche de vernis isolant et on polit la plaque.

Préparation des hydrosulfites par l'électrolyse. — Dans une précédente chronique (p. 192), nous signalions l'utilisation de l'acide hydrosulfureux préparé par voie électrochimique à la décoloration des jus sucrés. Le pouvoir décolorant de cet acide et des hydrosulfites alcalins permet de les utiliser dans les mêmes cas que les hypochlorites. Pour préparer ces hydrosulfites on emploie un électrolyseur divisé par une cloison poreuse en deux compartiments dans lesquels sont disposées des électrodes en charbon de cornue. Le compartiment négatif renferme une dissolution de bisulfite, ordinairement de bisulfite de sodium marquant 35° Baumé ; le compartiment positif contient de l'acide sulfurique à 10 p. 100. L'hydrogène provenant de l'électrolyse réduit le sulfite d'après la réaction



$$NaHSO^3 + 2H = NaHSO^2 + H^2O$$

Théoriquement il faudrait 2 kgr d'hydrogène pour 114 kgr de bisulfite de sodium sec ; pratiquement il faut 3 kgr pour 100 kgr de sulfite. Le prix de revient de l'hydrosulfite électrolytique est d'environ 20 francs les 100 kgr.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XIII. Samedi 27 Novembre 1897 4e Année. — N° 48.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

LA TÉLÉGRAPHIE

Nous nous occuperons dans cet article de trois systèmes télégraphiques récemment proposés : le télégraphe chimique de Delany, le synchronographe de Crehore et Squier et le système de télégraphie sans fil de Marconi. Ce dernier n'est pas inconnu à nos lecteurs, et nous voulons seulement compléter ici la première communication parue par quelques détails sur la disposition des appareils et par un aperçu historique des recherches antérieures.

TÉLÉGRAPHE MARCONI

M. Marconi utilise, pour transmettre des signaux à distance, sans faire usage d'un fil conducteur, la propriété qu'ont les ondes électromagnétiques, entre certaines limites de fréquence, de se propager dans toutes les directions autour du centre d'ébranlement avec un amortissement suffisamment lent pour que leur intensité ait encore à une distance relativement grande une valeur perceptible à l'aide de certains appareils très sensibles.

Le transmetteur est, en conséquence, un oscillateur de Hertz, produisant une série continue de décharges oscillantes, provoquées par le secondaire d'une bobine de Rhumkorff entre deux boules formant condensateur de faible capacité. A l'aide d'une clef, on peut fermer et ouvrir à volonté le circuit primaire de cette bobine et émettre les ondes pendant des intervalles longs ou courts, correspondant au trait et au point de l'alphabet Morse, dont les lettres sont représentées par des combinaisons de ces signaux élémentaires ; on peut également placer la clef dans le circuit secondaire, mais en ayant soin de plonger les contacts dans un liquide isolant, afin d'éviter que l'étincelle ne se prolonge. Cette dernière manière de procéder est avantageuse quand on veut opérer avec des courants puissants.

L'appareil récepteur est, comme dans toutes les expériences classiques sur les ondes hertziennes, un résonateur présentant approximativement la même période d'oscillation que l'oscillateur. Pour déceler l'oscillation induite très faible, provoquée par les ondes qui atteignent le résonateur, différents effets de ces oscillations peuvent être utilisés. M. Marconi a adopté, comme un des dispositifs les plus sensibles, un « cohéreur » à poudres métalliques. Les électrodes du résonateur se terminent par deux tiges entre les faces terminales desquelles est amoncelée de la limaille métallique. A l'état ordinaire, cette limaille peu cohérente présente une très grande résistance électrique, tout au moins lorsque la force électromotrice qui tend à y

faire passer un courant n'est pas de beaucoup supérieure à un volt. Mais un courant d'une tension de quelques dizaines de volts, ou plus efficacement une oscillation électrique directe ou induite, ont pour effet immédiat, en traversant la limaille, de la rendre très conductrice. Il suffit ensuite d'un léger choc ébranlant la limaille pour ramener l'état non conducteur primitif. Le mécanisme de ces actions n'est pas très aisé à expliquer, car il faut remarquer que M. Branly, à qui l'on doit l'étude de ces phénomènes, les a également observés sur des limailles métalliques emprisonnées par fusion dans des substances isolantes solides.

Quoi qu'il en soit, le récepteur Marconi comprend un résonateur, dont les feuilles métalliques *k*, *k* (fig. 1) sont reliées au électrodes du cohéreur *j*; à ces électrodes aboutit un circuit comprenant un élément de pile *g* et un relais très sensible *n* d'un millier d'ohms de résistance. Ce relais est à l'état normal sur son contact de repos, mais lorsqu'une onde vient frapper le résonateur, le cohéreur devient conducteur et un courant s'établit à travers le circuit du relais; celui-ci, amené sur son contact de travail, ferme le circuit d'une pile *r* sur un récepteur Morse *h*. En même temps, un courant est lancé dans l'électro d'un petit marteau trembleur *p*, qui frappe sur le cohéreur et dont les chocs rapides détruisent la conductibilité de la limaille. Aussitôt, le courant traversant le relais tombe à une intensité infime, et tous les appareils sont ramenés au repos. Suivant la durée plus ou moins grande de la succession d'ondes arrivant au résonateur, le récepteur enregistre un trait ou un point.

Voyons maintenant quelques points de détail. Pour en finir avec la figure 1, notons que les indications p_1 p_2 q h_1 désignent de grandes résistances sans self-induction, placées en dérivation entre les points où des étincelles ou de brusques variations de courant pourraient se produire. Il faut éviter en effet que le fonctionnement du récepteur lui-même influe sur le cohéreur. La série de petits voltamètres *s* placés aux bornes des contacts des relais, remplissent une fonction analogue: ils ne laissent pas passer le cou-

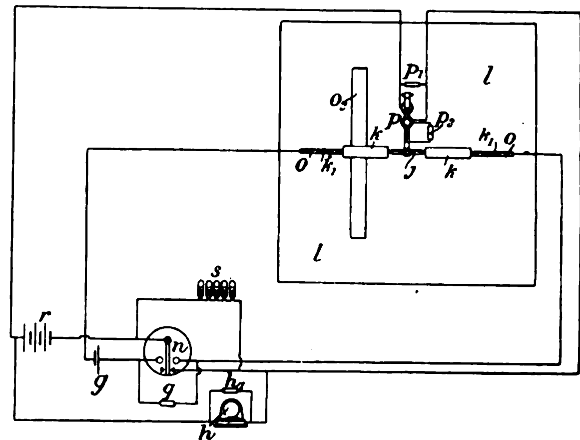


Fig. 1.

rant de la pile locale, mais recueillent l'extra-courant de rupture du circuit local.

La figure 2 représente un modèle d'oscillateur. A l'intérieur d'un tube d'ébonite d_3

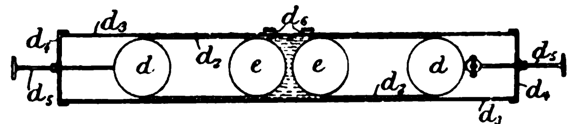


Fig. 2.

peuvent glisser deux tubes semblables d_2 fermés à leur extrémité par des boules pleines en laiton *d* et *e*; la distance entre les boules *e*, *e* peut être réglée à l'aide des vis d_5. Par les orifices d_6, on peut introduire entre les boules *e*, *e* de l'huile de vaseline.

Un perfectionnement, important pour la régularité du fonctionnement de l'interrupteur de la bobine d'induction, consiste à disposer le contact à l'extrémité d'un axe tournant sous l'action d'un petit moteur électrique; cette disposition, en renouvelant constamment les points de contact, les maintient en bon état et les empêche de se coller.

L'oscillateur à boules de 10 cm de diamètre produit des ondes de 25 cm de longueur. Si l'on veut concentrer les ondes dans une seule direction, on peut employer un réflecteur cylindrique à section parabolique dont l'oscillateur occupe la ligne focale; ce

réflecteur doit avoir une ouverture et une longueur au moins égales au double de la longueur d'onde. Avec une bobine d'induction donnant dans l'air des étincelles de 25 cm, on peut transmettre à plusieurs kilomètres de distance.

La partie principale du récepteur (fig. 3) est constituée par le cohéreur formé d'un tube de verre j de 35 à 40 mm de longueur et 2 mm de diamètre interne dans lequel pénètrent à frottement deux bouchons métalliques j_2, j_2 qui ne laissent entre eux qu'un espace d'un millimètre. C'est dans ce petit espace, entre les faces de ces électrodes, que se trouve la limaille métallique. Les électrodes sont de préférence en argent et la limaille est un mélange de poudre de nickel avec 4 p. 100 d'argent, mélange très sensible à l'action des ondes. Les grains métalliques ne doivent pas être trop fins et de préférence de grosseur uniforme obtenue par plusieurs tamisages. On peut augmenter la sensibilité en triturant la limaille avec une gouttelette à peine perceptible de mercure, ou encore en amalgamant légèrement les faces internes des électrodes. La poudre ne doit pas être comprimée entre les électrodes. Le tube de verre peut être scellé et on peut y faire le vide, mais cela n'est pas essentiel.

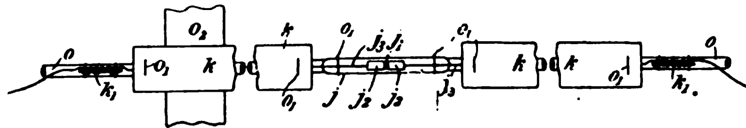


Fig. 3.

Les fils qui partent des électrodes sont reliés à des feuilles métalliques k, k dont les dimensions déterminent la période du résonateur. Pour trouver les dimensions les plus favorables avec un oscillateur de période donnée, on fait usage d'un résonateur auxiliaire constitué simplement par une bande d'étain collée sur une lame de verre et coupée en son milieu par un trait fin au canif. On place cet ondoscope en face et à une petite distance de l'oscillateur et en raccourcissant ou allongeant la bande d'étain, on détermine la dimension correspondant au maximum de sensibilité, c'est-à-dire à la plus grande distance à laquelle les étincelles sont perceptibles. On donne aux feuilles k, k une longueur un peu moindre que celle ainsi déterminée pour tenir compte de la capacité des électrodes du cohéreur.

Les feuilles k et le cohéreur sont fixés par les liens o_1, o_1 à un tube de verre o, o de 30 cm de longueur fixé sur un support en bois o_2. Les petites bobines de self-induction à noyau de fer k_1, k_1 ont pour but d'empêcher les oscillations de grande fréquence de se dériver partiellement dans le circuit de la pile locale, ce qui en affaiblirait l'action sur le tube sensible.

Pour transmettre à grande distance, on met les boules extérieures de l'oscillateur en communication l'une avec la terre, l'autre avec une feuille métallique ou un cylindre suspendus à une potence très élevée. Pour atteindre de plus grandes hauteurs, on peut faire usage de cerf-volant ou de petits ballons. On dispose de même le cohéreur de l'appareil récepteur. Il faut éviter qu'à la station de départ le transmetteur puisse agir sur le récepteur local; il suffit, à cet effet, d'enfermer celui-ci dans une boîte métallique formant écran.

Voyons maintenant ce qui, dans le même ordre d'idées, avait été fait avant les expériences de M. Marconi.

Peu après la publication des travaux de Hertz, l'idée avait été émise de différents côtés d'appliquer en télégraphie la propriété des ondes électromagnétiques de grande longueur de pouvoir traverser des obstacles opaques pour la lumière. Mais on savait aussi que pour se placer dans des conditions favorables il fallait diminuer dans une forte proportion la longueur des ondes que l'on

savait produire. Les lecteurs de ce journal savent que M. Righi s'est occupé avec succès de cette dernière question ([1]). Il a diminué la capacité et la sef-induction, et par suite la période d'oscillation, en constituant ses oscillateurs avec des sphères métalliques de diamètre relativement petit. MM. Sarasin et de la Rive avaient déjà montré ([2]) que les effets des excitateurs pouvaient être augmentés en faisant éclater l'étincelle dans une couche d'huile; à l'huile d'olive qu'ils employaient. M. Righi trouva avantageux de substituer l'huile de vaseline épaissie par l'addition de vaseline. Enfin, il divisa l'étincelle en trois en ajoutant de part et d'autre des boules excitatrices deux autres boules séparées des premières par un espace d'air. On voit par là que l'oscillateur Righi et l'oscillateur Marconi n'en font qu'un.

On sait qu'il y a six ou sept ans, M. Edouard Branly était engagé dans une série de recherches sur les variations de conductibilité sous diverses influences électriques, recherches qui l'ont conduit à la découverte des propriétés particulières des limailles métalliques utilisées dans les cohéreurs ([3]). Voici comment s'exprime cet auteur dans un article d'ensemble ([4]) auquel nous renvoyons pour l'intérêt nouveau qu'apporte à ces expériences de laboratoire une application à propos de laquelle le nom de ce savant a été à peine prononcé :

« On forme un circuit comprenant un élément de pile, un galvanomètre et une poudre métallique versée dans un tube en ébonite d'un centimètre carré de section environ et de quelques centimètres de hauteur. Deux tiges cylindriques de cuivre, en contact avec la limaille métallique, ferment les extrémités du tube et établissent la communication avec le reste du circuit. Si la limaille est suffisamment fine, le courant paraît complètement arrêté, même avec un galvanomètre très sensible. C'est en millions d'ohms qu'il faut exprimer la résistance, alors que le métal aggloméré par fusion ou par une très forte pression n'offrirait quelquefois sous la même section qu'une résistance d'une fraction d'ohm.

» Le courant se trouvant ainsi complètement ou à peu près arrêté, on fait éclater à une certaine distance du circuit la décharge d'une bouteille de Leyde ou d'une machine électrique munie de son condensateur.

» L'aiguille du galvanomètre du circuit de la poudre est brusquement écartée de sa position d'équilibre... L'aiguille reste déviée; il ne s'agit pas en effet d'une variation passagère. Ce n'est plus en millions d'ohms, mais le plus souvent en centaine d'ohms que la résistance du métal doit être évaluée. »

L'auteur décrit ensuite des expériences montrant que la décharge oscillante d'un condensateur produit même à distance des actions analogues.

« Les substances, dit-il, sur lesquelles la diminution de résistance s'observe le plus facilement sont les limailles métalliques de fer, aluminium, cuivre, laiton, antimoine, tellure, cadmium, zinc, bismuth, etc.; si l'on veut opérer sans pression, la limaille est versée dans un tube de verre ou d'ébonite où elle est comprise entre deux courtes tiges métalliques..... Le passage de la poudre à travers des tamis en laiton permet d'employer des grains de grosseur déterminée. »

Après avoir décrit de nombreuses variantes du dispositif expérimental, M. Branly montre comment le retour à la résistance primitive peut être provoqué par le choc.

« La conductibilité due aux diverses influences décrites persiste quelquefois très longtemps, vingt-quatre heures ou plus. Il est toutefois possible de la faire disparaître très vite... Lorsque la diminution de résistance est due à une action électrique faible, un très léger choc sur la table rétablit la résistance primitive; avec la même substance, si l'action a été plus forte, plusieurs coups sont nécessaires... J'employais alors

([1]) Voir en particulier l'article d'ensemble de M. Righi : *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 350, 1895.
([2]) *La Lumière Électrique*, t. XLVI, p. 189.
([3]) De *coherer*, nom proposé par le professeur Lodge.
([4]) *La Lumière Électrique*, t. XL, p. 301, 1891.

pour produire les chocs un marteau à course réglée, fixé sur la table. »

M. Branly a également étudié l'influence d'une enceinte métallique entièrement close renfermant la substance sensible.

Le professeur Lodge a basé sur ces phénomènes une théorie de la vision en admettant que les bâtonnets et les cônes de la rétine jouent par rapport à la lumière un rôle analogue à celui des cohéreurs [1]. Qu'on nous permette à ce propos une petite digression. Une des difficultés de cette théorie est d'expliquer comment les bâtonnets seraient ramenés à leur état primitif après avoir été exposés à la lumière. M. Lodge est obligé d'admettre l'existence de quelque phénomène qui, comme les chocs que l'on donne aux tubes à limaille, rétablisse l'état antérieur à l'arrivée des premières ondes lumineuses. Il nous semble que cette difficulté est bien petite quand on songe qu'il existe des substances présentant les propriétés attribuées aux bâtonnets. Le sélénium recuit, par exemple, n'est-il pas un parfait cohéreur pour les ondes électromagnétiques de l'ordre lumineux, et dont les molécules se « décohèrent » automatiquement avec la disparition de la cause perturbatrice? Et comme, d'après les recherches de M. Branly, cette substance est aussi sensible aux ondes de beaucoup plus grande longueur que les ondes lumineuses, ne forme-t-elle pas en quelque sorte le pont qui mène de la limaille métallique aux bâtonnets de l'œil?

Le professeur Lodge s'est également occupé des cohéreurs au point de vue expérimental; il s'en servait pour déceler la présence des ondes jusqu'à 70 mètres de distance de l'appareil générateur. Au meeting de 1894 de l'Association britannique, il avait exposé et fait fonctionner toute une série d'appareils qui constituaient un véritable système de télégraphie sans fils: ils comprenaient des oscillateurs, des cohéreurs à limaille, un frappeur mû par le mouvement d'horlogerie d'un appareil Morse, etc.

Parmi ses appareils de démonstration des ondes hertziennes, M. Chunder Bose montrait également, à la dernière exposition de la Société de Physique, un ondoscope du genre cohéreur à contacts multiples.

Notons encore qu'avec un détecteur d'ondes constitué par une aiguille d'acier que les ondes aimantent ou désaimantent M. Rutherford réussissait l'année dernière à transmettre des signaux à près d'un kilomètre de distance [1],

Enfin, nous rappelons que le dispositif de contact tournant de la bobine d'induction qui forme une des revendications du brevet Marconi a été employé déjà par M. d'Arsonval et figurait l'année dernière parmi les appareils exposés à la Société de physique par la maison Gaiffe.

On voit par là que les organes essentiels du système Marconi étaient connus depuis plusieurs années, et les dithyrambes d'une presse d'autant plus facile à étonner qu'elle est plus ignorante ne sauraient faire oublier ces antécédents. Est-ce à dire qu'il faille tomber dans l'extrême opposé et dénier à M. Marconi tout mérite sauf celui de savoir mettre sur pied un brevet? Nullement, car il est de fait que M. Marconi a sû obtenir des résultats pratiques qui n'avaient pas été atteints avant lui. Il faut le féliciter au contraire d'avoir su mener à bien ses expériences en s'assurant des concours sérieux, notamment au Post-Office où il a trouvé le « fil » nécessaire même dans la télégraphie sans fil.

Aujourd'hui, les ondes électromagnétiques et les cohéreurs sont mis en actions par une société anglaise, la Wireless Telegraph and Signal C°, au capital de 2,5 millions de francs. Cette société trouvera sans doute un champ d'application assez considérable dans l'orga-

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 135, 1895.

[1] Cet article était remis à la Rédaction lorsque parut dans *The Electrician*, de Londres, sur l'histoire des cohéreurs, un article de M. Lodge dont nous donnerons une analyse.

nisation des moyens de communication entre les phares, les bateaux-phares et la côte, et peut-être aussi entre navires en pleine mer. En Angleterre, des signaux ont été échangés par-dessus un bras de mer de 15 kilomètres de largeur; et dans les expériences faites avec le système Marconi à la Spezzia, on a pu correspondre de la côte avec un navire en mer jusqu'à 18 kilomètres de distance. Le brouillard ne gêne pas la transmission, ni les obstacles suffisamment éloignés des appareils; mais on a constaté que les obstacles voisins des appareils (élévation de terrain, mâts ou cheminée de navire) peuvent, lorsqu'ils sont interposés entre les deux stations rendre les signaux confus. Dans la majorité des cas d'application, on pourra sans doute éviter de se placer dans ces conditions défavorables.

(*A suivre.*)

A. HESS.

UNE MÉTHODE SIMPLE DE DÉMARRAGE

DES MOTEURS ÉLECTRIQUES ASYNCHRONES A COURANT ALTERNATIF SIMPLE

On sait que dans les moteurs asynchrones à courant alternatif simple, les moteurs asynchrones monophasés, suivant l'appellation courante, le couple moteur est nul au démarrage, et que pour faire démarrer ces moteurs sous faible charge ou même à vide, on les fait fonctionner pendant les premiers instants, comme moteurs à champ tournant. Il résulte de là la nécessité d'adjoindre au moteur un appareil produisant un courant dérivé décalé par rapport au courant principal, appareil consistant en une bobine de self-induction ou une capacité électrolytique, et celle de placer sur l'inducteur du moteur un second enroulement où passe le courant décalé pendant les premiers moments de la mise en marche.

M. Riccardo ARNO, l'élève et collaborateur du regretté Ferraris, vient, dans deux conférences faites récemment devant l'Associazione elettrotecnica italiana, d'indiquer un nouveau procédé de démarrage, auquel il a été conduit par l'étude théorique des conditions de fonctionnement des moteurs asynchrones et dont il a pu apprécier l'efficacité par plusieurs applications sur des moteurs de diverses puissances.

A la vérité, le système préconisé par M. Riccardo Arno ne nous paraît pas nouveau et nous semble n'être qu'une modification d'un procédé général de MM. Leblanc et Hutin [1]. D'ailleurs il ne résout pas complètement le problème du démarrage des moteurs asynchrones monophasés, car, pas plus que les procédés employés jusqu'ici, il ne permet de démarrer sous pleine charge ; il faut toujours que la charge soit faible. Mais il présente sur ces procédés l'avantage incontestable de simplifier la construction des moteurs, puisqu'il supprime à la fois l'appareil destiné à produire la différence de phase et l'enroulement destiné à conduire le courant décalé par rapport au courant principal; il ne laisse, comme accessoire nécessaire au démarrage, qu'une résistance additionnelle permettant de donner à la résistance de l'armature une valeur critique pour laquelle le moteur, quelle soit sa puissance, démarre sous faible charge avec le courant alternatif simple qui doit l'actionner une fois lancé.

Quant aux considérations qui ont guidé

(1) Voir : HUTIN et LEBLANC, Brevet français n° 204 456, délivré le 26 juin 1890, sur une nouvelle machine dynamo-électrique pour courants alternatifs.

HUTIN et LEBLANC. Étude sur les courants alternatifs, *La Lumière Électrique*, t. XL, p. 418, 1891, et *passim*. — A. Blondel. Du rôle des fluides magnétiques dans les moteurs à champ tournant, *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 540, et particulièrement p. 545, 21 décembre 1895.

l'auteur et l'ont conduit à son procédé de démarrage, nous ne pouvons mieux faire que de reproduire le mémoire qu'il présentait, le 22 septembre dernier, à la section de Turin de l'Association électrotechnique italienne [1]:

Le présent mémoire a pour objet l'exposé d'une méthode simple de démarrage des moteurs asynchrones à courant alternatif, lequel permet de faire fonctionner ces moteurs avec un seul courant alternatif, c'est-à-dire avec un seul enroulement actif, même pendant le démarrage de l'appareil. Ce résultat est obtenu :

1° En insérant, pendant les premiers instants de la période de démarrage, une résistance donnée additionnelle dans l'enroulement de l'armature du moteur;

2° En imprimant à la partie mobile de l'appareil, par une légère impulsion, une vitesse angulaire initiale très faible ; la direction de la rotation du moteur étant alors déterminée initialement par ladite impulsion ;

3° En diminuant graduellement, jusqu'à exclure du circuit de l'armature, la résistance additionnelle insérée dans le circuit même, dès que l'on a atteint ou que l'on est près d'atteindre le maximum de vitesse possible correspondant à ladite résistance.

Or j'ai vérifié [2] que la résistance de démarrage — c'est-à-dire celle pour laquelle le moteur démarre de lui-même comme monophasé, avec une vitesse initiale très faible — est telle que par son effet l'intensité efficace du courant alternatif, dans les premiers instants de la période initiale, a une valeur d'environ double de celle que, dans les mêmes conditions de charge, on a dans la période de fonctionnement normal de l'appareil; condition qui est presque la même que celle qu'on a lorsque, avec les méthodes jusqu'à présent employées, on obtient le démarrage des moteurs asynchrones en les faisant fonctionner, pendant la période de démarrage, comme moteurs à champ tournant. Et puisque, comme il a été prouvé par mes expériences, la vitesse initiale à imprimer au moteur ne doit pas être supérieure à celle que l'on obtient en faisant parcourir un quart de tour à la poulie ou en lançant la courroie à la main — selon que l'on effectue le démarrage à vide ou sous faible charge — on comprendra que la méthode exposée soit non seulement très simple, mais absolument pratique et également applicable à des moteurs de grande puissance.

Pour interpréter facilement les résultats de mes expériences, il est très utile de considérer les moteurs asynchrones à courant alternatif simple comme moteurs à champ tournant différentiel, en déduisant directement leurs propriétés de celles des moteurs à courants polyphasés [1].

Désignons indistinctement par $\mathfrak{B}$ soit la valeur de l'induction magnétique du champ, soit la moitié de la valeur maxima de l'induction dans le champ magnétique alternatif; par n la fréquence de l'un et de l'autre champ; par S, r, L, respectivement la surface, la résistance et l'inductance de chacun des N enroulements élémentaires de l'armature et par m la vitesse angulaire de cette armature.

Appelant W le moment du couple agissant sur l'armature du moteur polyphasé, on a entre W et m la relation :

$$W = \pi N \mathfrak{B}^2 S^2 \frac{r(n-m)}{r^2 + 4\pi^2 L^2 (n-m)^2}. \qquad (a)$$

Appelant W′ le moment du couple agis-

[1] Nous y ajouterons seulement quelques notes destinées à tenir compte de plusieurs antériorités qui ont échappé à M. Riccardo Arno.

[2] Mes expériences ont été faites sur un moteur asynchrone de la puissance de 3,5 chevaux, construit par la maison Brown, Boveri et Cie, pour une fréquence égale à peu près égale à 40, pour une différence de potentiel efficace de 100 volts environ et pour une vitesse angulaire d'environ 1250 tours par minute.

[1] GALILEO FERRARIS. Un metodo per la trattazione dei vettori rotanti ed alternativi ed una applicazione di esso ai motori elettrici a corranti alternate, *Mémoires de l'Académie royale des Sciences de Turin*, série II, t. XLIV. (Cette méthode a été également indiquée, en même temps, par M. BLONDEL. Voir *La Lumière Électrique*, t. LI, article GUILBERT, p. 351 et note de la page 322.) (N. d. l. R.)

sant sur l'armature du moteur monophasé, on a entre W' et m la relation [1] :

$$W' = \pi N \mathfrak{B}^2 S^2 r \left[\frac{n - m}{r^2 + 4\pi^2 L^2 (n - m)} - \frac{n + m}{r^2 + 4\pi^2 L^2 (n + m)^2} \right]. \qquad (b)$$

Si on porte (fig. 1) sur l'axe des abscisses O_1X (de droite à gauche) les valeurs de m et sur l'axe des ordonnées O_1Y' les valeurs correspondantes de W, on obtient pour la ligne courbe représentative de la formule (a) deux branches homothétiques (dont une seulement QPMO est représentée sur la figure) par rapport au point O, situé à la distance n de l'origine O_1. Chacune des deux branches est asymptotique à l'axe des abscisses et présente un point M d'ordonnée numériquement maxima, égale à $\frac{N\mathfrak{B}^2 S^2}{4L}$ et correspondant pour la branche QPMO à l'abscisse $n - \frac{1}{2\pi}\frac{r}{L}$. Le point O est un point d'inflexion et, dans son voisinage, la courbe se confond avec une ligne droite dont la tangente de l'angle d'inclinaison est égale à $\frac{\pi N\mathfrak{B}^2 S^2}{r}$.

Il résulte de là que, tandis que l'ordonnée du point M est indépendante de r, l'abscisse de M, pour la branche QPMO, diminue lorsque r augmente. Conséquemment, pour ce qui se réfère à ladite branche, qui est celle qu'il convient de considérer dans la pratique, on peut dire que, quand r croît, le point M se transporte sur une ligne parallèle à l'axe des abscisses de gauche à droite, en se rapprochant de l'axe $O_1 Y'$ (fig. 2), jusqu'à venir sur cet axe même (fig. 3) et le dépasser ensuite du côté droit (fig. 4).

Mais l'inclinaison de la droite avec laquelle on peut confondre la courbe dans le voisinage du point O, étant inversement proportionnelle à r, cette inclinaison diminue quand le point M se déplace de gauche à droite comme le montrent les figures 2, 3 et 4, où la ligne QPMO est respectivement repré-

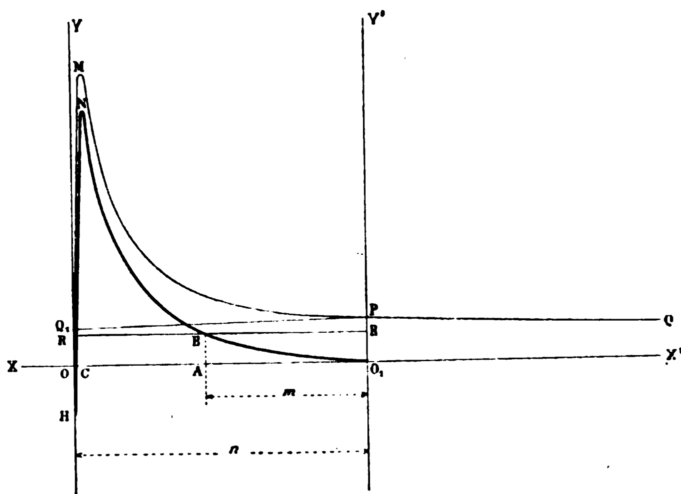


Fig. 1.

sentée pour les trois cas qu'il convient de considérer plus particulièrement : r un peu inférieur à $2\pi nL$ (fig. 2), r égal à $2\pi nL$ (fig. 3) et r un peu supérieur à $2\pi nL$ (fig. 4).

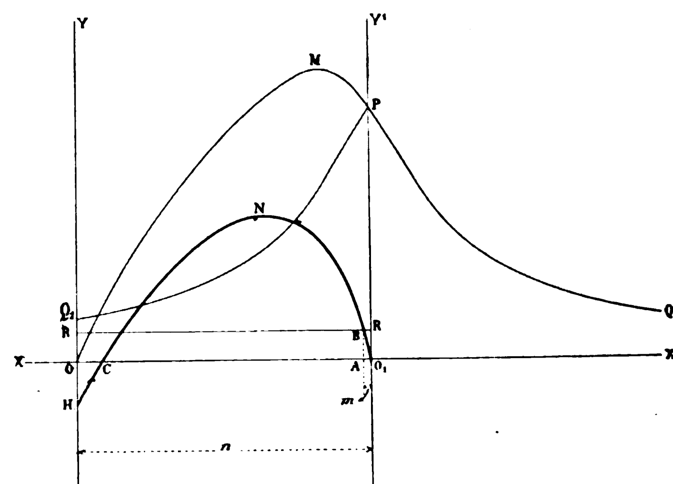


Fig. 2.

De la courbe représentative de la formule (a) et donnant la relation entre W et m, on peut facilement déduire la courbe représentative de la relation (b) entre le moment W' du couple agissant sur l'armature du moteur asynchrone et la vitesse angulaire m de l'armature. Il suffit, dans ce but, de tracer la ligne PQ_1 symétrique par rapport à l'axe

[1] J. SAHULKA. Theorie der Thomsonn (Brown'schen) Motoren für gewöhnlichen Wechselstrom. *Electrotechnische Zeitschrift*, 7 juillet 1893, p. 391. Cette formule avait été donnée auparavant et pour la première fois par MM. HUTIN et LEBLANC, *La Lumière Électrique*, t. XL, p. 421, 1891. (N.d.l.R.)

O_1Y', de la portion PQ de la courbe QPMO, et soustraire les unes des autres les ordonnées des deux courbes PMO et PQ.

Les courbes O_1NCH (fig. 1, 2, 3) et O_1N_1NH (fig. 4) ainsi obtenues, lesquelles ont pour coordonnées les valeurs de m et les valeurs correspondantes de W', montrent les diverses propriétés des moteurs asynchrones à courant alternatif dans les quatre cas considérés.

Pour $m=0$ le moment W' du couple agissant sur l'armature est nul. Pour m différent de o, mais tel que sa valeur surpasse celle représentée par O_1C (fig. 1, 2, 3), ce moment W' prend, en passant par un maximum, des valeurs différentes de zéro et positives; pour $m = O_1C$ il se réduit de nouveau à zéro, et finalement pour m plus grand que O_1C il prend des valeurs négatives. Si toutefois la résistance additionnelle insérée dans l'enroulement de l'armature est telle que par son effet on ait $r > 2\pi nL$ (fig. 4) alors, pour des valeurs quelconques de la vitesse de rotation, W' prend toujours des valeurs négatives : l'appareil ne peut alors jamais fonctionner comme moteur, ou si, pendant qu'il fonctionne sur une résistance moindre de ou égale à $2\pi nL$, on augmente la résistance même, de façon que r devienne plus grand que $2\pi nL$, le moteur s'arrête bientôt.

Revenant maintenant aux cas de $r \leqq 2\pi nL$ (fig. 1, 2, 3) pour lesquels est seulement possible le fonctionnement des moteurs asynchrones à courant alternatif simple, il convient d'observer que — tandis que pour des valeurs de r très petites (fig. 1), O_1C est de peu inférieure à n et la valeur maxima de W' représentée par l'ordonnée du point N, est de peu inférieur à la valeur maxima de W, représentée par l'ordonnée du point M — pour des valeurs de r relativement grandes (fig. 2, 3), les valeurs de O_1C et de l'ordonnée du point N diffèrent respectivement des valeurs de n et de l'ordonnée du point M et en diffèrent de plus en plus à mesure que r augmente, jusqu'à ce que r devenant plus grand que $2\pi nL$ (fig. 4), O_1C se réduise à zéro et W' ne prenne plus, quelle que soit la vitesse de rotation de l'armature, que des valeurs négatives.

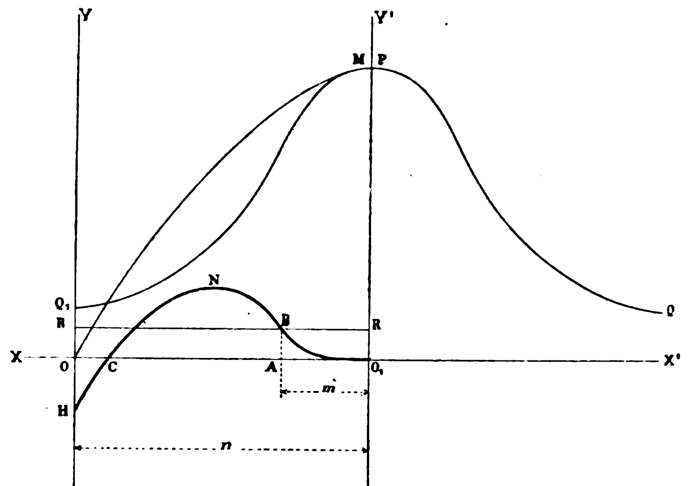


Fig. 3.

Or, supposons que l'ordonnée d'un point de la droite de RR parallèle à l'axe des abscisses représente le moment du couple au démarrage. Pour que celui-ci puisse s'effectuer, il faut que la vitesse angulaire de l'armature ait initialement une valeur de quelque peu supérieure à celle représentée par l'abscisse O_1A du point B appartenant à la branche ascendante de la ligne O_1NCH (fig. 1, 2, 3) dont l'ordonnée AB est égale au moment du couple résistant.

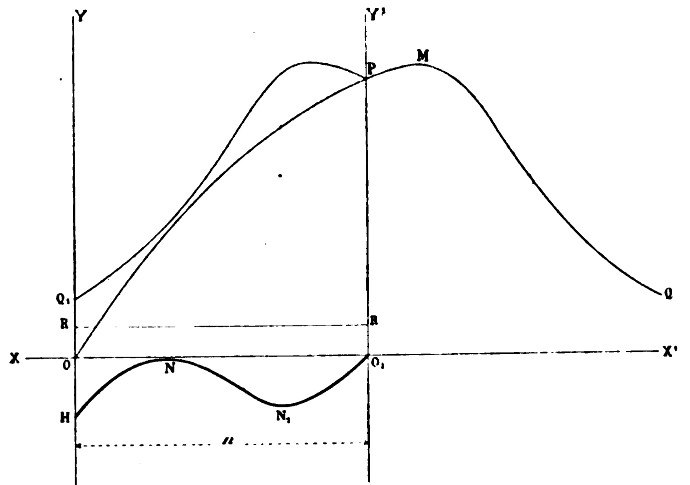


Fig. 4.

On peut voir que dans le cas auquel corres-

**

pond la figure 2, c'est-à-dire dans le cas où r est quelque peu inférieur à $2\pi n L$, la valeur de O_1A peut être encore très petite pendant qu'au contraire dans tous les autres cas O_1A est toujours relativement grand.

La condition de r très peu inférieur à $2\pi n L$ est donc celle qui doit être satisfaite pour que, par une très faible vitesse angulaire initiale imprimée à la partie mobile du moteur, il soit possible d'effectuer un démarrage sous l'action du seul courant alternatif au moyen duquel l'appareil doit fonctionner dans la période de travail.

Et puisque le cas de $r = 2\pi n L$ (fig. 2) correspond aux conditions les plus convenables pour le démarrage des moteurs polyphasés — la valeur de W étant alors maxima pour $m = 0$ — on peut dire que la résistance additionnelle à insérer dans l'enroulement de l'armature afin de pourvoir, suivant la méthode exposée, au démarrage des moteurs monophasés, est de peu inférieure à celle qu'il conviendrait d'y insérer s'il s'agissait d'effectuer le démarrage desdits moteurs sous l'action du champ magnétique tournant [1].

Et puisque en outre, comme il a été déjà observé et comme le montrent les figures, $2\pi n L$ est la valeur maxima que r puisse avoir afin d'obtenir, pour des valeurs données de m, des valeurs correspondantes de W' positives, on peut encore donner cette autre règle pratique : la résistance de démarrage doit être un peu inférieure à la résistance maxima pour laquelle est encore possible, pour des valeurs données de la vitesse de rotation, le fonctionnement du moteur.

Dans une communication plus récente faite au siège central de l'Association électrotechnique italienne, le 24 octobre dernier, M. R. Arno indiquait les résultats de l'application de son procédé de démarrage à des moteurs industriels. Voici ce qu'il disait à ce sujet :

Si l'on observe que les méthodes de démarrage employées jusqu'ici, lesquelles, comme on sait, sont toutes fondées sur la production d'un champ magnétique tournant et sur l'action d'un tel champ sur l'armature fermée en court-circuit, demandent (au moins au-dessus d'une certaine puissance des moteurs) l'emploi de résistances additionnelles à insérer pendant la période initiale dans les enroulements de l'armature, on comprendra bien l'importance que présente la simplification que l'on vient d'apporter dans les appareils destinés à la mise en marche des moteurs asynchrones à courant alternatif, puisqu'alors il n'est plus nécessaire d'avoir ni l'enroulement destiné à être parcouru pendant la période de démarrage par un courant décalé de phase par rapport à celui qui parcourt l'enroulement principal, ni l'appareil à réactance avec lequel on produit le décalage de phase nécessaire entre les deux courants qui produisent le champ magnétique tournant.

D'autre part, on sait que, si l'on veut atteindre les conditions les meilleures pour le démarrage des moteurs à courants polyphasés, les résistances additionnelles doivent être telles que la relation $r = 2\pi n L$ soit satisfaite. On peut donc dire, comme l'expérience l'a vérifié, que la résistance à insérer dans chacun des enroulements élémentaires de l'armature afin d'arriver, suivant ma méthode, à la mise en marche des moteurs monophasés, est inférieure, mais de peu inférieure à celle qu'il faudrait y insérer s'il s'agissait d'en effectuer le démarrage sous l'action du champ magnétique tournant.

... J'ai dit dans mon précédent Mémoire que les premières expériences sur la nouvelle méthode de démarrage ont été exécutées sur un moteur Brown de la puissance de 3,5 chevaux, installé dans le laboratoire d'électrotechnique du Musée royal industriel italien.

En raison des résultats pratiques obtenus par l'application de cette méthode, il devenait nécessaire, pour bien juger de son importance industrielle, de faire de nouvelles expériences sur des moteurs de grande puissance. Ces expériences ont été possibles grâce à l'exquise courtoisie de M. Carlo Intermeister,

[1] Cette condition $r = 2\pi n L$ a déjà été indiquée par M. LEBLANC, *La Lum. Élect.*, t. XL, p. 421 et 422 (*N.D.L.R.*).

propriétaire de l'établissement électrique d'Intra, de M. Alessandro Croppi, directeur de l'établissement même, et de mon très cher ami l'ingénieur Giacomo Merizzi, directeur de l'établissement électrique de Sondrio, lequel, s'intéressant vivement à la nouvelle méthode, a fait tout ce qui dépendait de lui pour la prompte réalisation de ces expériences.

Les trois moteurs distribués sur le réseau alternatif de l'établissement d'Intra, sur lesquels les nouvelles expériences ont été exécutées, ont été construits par la maison Brown Boveri et Cie; ils fonctionnent respectivement avec une vitesse angulaire d'environ 600, 800 et 400 tours par minute; ils sont respectivement d'une puissance de 12, 25 et 110 chevaux, et démarraient jusqu'ici sous la seule charge due à une courroie placée sur une poulie folle, à l'aide du procédé employé habituellement par Brown, qui consiste à produire une différence de phase entre les deux courants qui produisent le champ magnétique tournant par une capacité de polarisation. Les deux premiers moteurs, ceux de 12 et 25 chevaux, sont à bas potentiel (110 volts) et le troisième, celui de 110 chevaux, est à haut potentiel (3000 volts); la fréquence du courant alternatif est de 42 périodes par seconde.

Ayant appliqué la nouvelle méthode au démarrage desdits moteurs, avec la charge due à la courroie et à la poulie folle, non seulement on a pleinement constaté les résultats déjà obtenus en expérimentant sur un moteur de petite puissance, mais encore on a obtenu un nouveau résultat vraiment digne d'être noté : avec la résistance de démarrage insérée dans chacun des enroulements élémentaires de l'armature, l'intensité efficace du courant alternatif dans le circuit inducteur et dans les premiers instants de la période initiale, est à peu près égale à celle qu'on a, dans lesdites conditions de charge, dans la période de fonctionnement normal du moteur, condition de beaucoup plus favorable que celle qui se trouve être satisfaite lorsque, par les méthodes employées jusqu'ici, on procède à la mise en marche des moteurs asynchrones à courant alternatif en les faisant fonctionner, pendant la période de démarrage, comme des moteurs à champ magnétique tournant.

Ces résultats m'ont conduit à autoriser l'application du nouveau procédé au démarrage des moteurs installés dans l'établissement électrique d'Intra. Il m'a été possible ainsi de prouver pratiquement que ce procédé est non seulement extrêmement plus simple que ceux employés jusqu'à présent, mais encore qu'il est plus économique.

ENDOSMOSE ÉLECTRIQUE (1)

IV. — Interprétation mécanique des phénomènes

1. — Théorie de M. G. Wiedemann

Le fait du changement d'équilibre déterminé par les actions électriques, la découverte des lois fondamentales par M. G. Wiedemann l'amenèrent à une conception nouvelle des phénomènes.

Rejetant la théorie de Pouillet comme vague et incertaine, les hypothèses de Hittorf comme introduisant deux indéterminées inutiles : les chemins relatifs parcourus par les éléments de l'électrolyte, écartant la théorie de d'Almeida, juste en principe, comme insuffisante dans les cas des sels qui demeurent absolument neutres pendant toute la durée de l'électrolyse, renonçant à une analyse progressive des faits, M. G. Wiedemann préfère voir dans le phénomène la manifestation d'une propriété essentielle et primi-

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* des 9, 16, 23, 30 octobre et 13 novembre, p. 49, 106, 168, 208 et 313.

tive des courants, au même titre que la propriété de décomposer les liquides conducteurs, jusque-là inaperçue : la propriété de transporter les liquides du pôle positif au pôle négatif (*Ann. de Pogg.*, t. LXXXVII).

Graham n'avait pas encore formulé la théorie indiquée plus haut, qu'il propose à l'encontre des idées de M. G. Wiedemann.

1. *Discussion de l'hypothèse de M. G. Wiedemann.*

Le principe fondamental énoncé par M. G. Wiedemann a été l'objet d'une discussion assez longue, et le sujet d'expériences nombreuses pour en vérifier la réalité. Tel fut aussi l'objet des recherches successives de MM. de la Rive, Matteuci, Logeman et Breda, adversaires de la même hypothèse.

Les déplacements des liquides observés par M. Quincke et par M. Tereschin semblaient une démonstration expérimentale du principe, mais avant de conclure à la réalité du transport direct du liquide par l'électricité, il est nécessaire d'examiner le rôle de la paroi. Les expériences de M. Gernez (*Comptes rendus de l'Ac. des Sc.*, t. LXXXIX, an. 1879, p. 303-348) et les expériences de M. Roiti publiées à peu près en même temps (*Il Nuovo Cimento*, 1879), en établissant l'effet de la paroi, montrent qu'une pareille conclusion n'est pas justifiée. La méthode et les conclusions de M. Gernez sont les suivantes :

« Les branches d'un tube en U renversé, placé verticalement, ou d'un tube disposé comme l'indique la figure 20 contiennent de l'eau jusqu'au milieu de leur longueur, deux fils de platine relient respectivement les deux branches aux pôles d'une machine de Holtz.

« Dans ces conditions : 1° la rotation du plateau de la machine détermine le passage du liquide de la branche reliée au pôle positif dans la branche qui communique avec le pôle négatif. L'inversion de sens de la rotation du plateau produit l'inversion de sens dans le passage du liquide à l'intérieur du tube.

« 2° Le passage du liquide a toujours lieu de la branche positive à la branche négative.

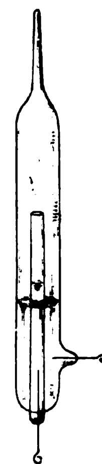


Fig. 20.

« 3° La quantité de liquide transporté est proportionnelle à la quantité d'électricité mise en jeu ; la quantité de liquide transporté ne dépend pas sensiblement de l'étendue de la surface libre du liquide.

« 4° Il y a une certaine concordance entre le sens suivant lequel varie le phénomène et la conductibilité des liquides. Le transport est d'autant plus abondant que le liquide est moins bon conducteur. L'eau additionnée d'alcool est transportée plus abondamment que l'eau pure. Le transport de l'alcool de vin peut être cinq à six fois plus rapide que celui de l'eau distillée.

« L'addition de quelques gouttes d'acide sulfurique, azotique ou chlorhydrique, en quantité assez faible pour que ni la densité ni la température d'ébullition n'éprouvent de modifications sensibles, réduit la vitesse de transport de l'eau ou de l'alcool à une fraction de sa valeur, souvent inférieure à $\frac{1}{50}$. Les alcalis potasse, soude, ammoniaque, les solutions de sulfate de soude, de chlorhydrate d'ammoniaque produisent le même effet. « Si l'on soumet à l'action de la décharge un mélange homogène de deux liquides, l'action de l'électricité détermine une séparation partielle des liquides qui distillent en proportions qui ne

sont en rapport ni avec la volatibilité ni avec la conductibilité de la substance. »

On retrouve dans l'étude des causes du phénomène et de la relation avec les changements de conductibilité une partie des résultats obtenus par M. Quincke.

M. Gernez conclut d'expériences complémentaires sur les causes : Le phénomène ne résulte nullement de l'échauffement inégal des deux couches liquides traversées par l'électricité. Le phénomène est presque exclusivement un transport de liquide effectué sous l'influence de l'électricité le long des parois conductrices des appareils.

M. Roiti émet des conclusions analogues. Sans pouvoir préciser dans quelles limites la conductibilité superficielle des parois intervient dans les expériences de M. Quincke faites avec l'eau, l'alcool, on est obligé d'en admettre l'intervention.

La conclusion est que les expériences de M. Quincke et de M. Tereschin ne démontrent pas l'entraînement direct du liquide par le courant ou la décharge.

Van Breda et Logeman (*Ann. Pogg.*, t. C, an. 1857, p. 149) ont cherché à vérifier le transport de la masse du liquide par le courant galvanique dans deux cas.

Première série. — Avec appareil sans diaphragme.

1° En observant la surface libre du liquide dans le voisinage des électrodes, aucun déplacement n'a pu être rendu sensible au moment du passage d'un courant produit par 30 éléments Grove.

2° En visant la surface libre d'un liquide, placé dans des vases communiquants, au moment du passage du courant dans la masse, le changement de niveau n'a pas été appréciable.

3° En mesurant le débit d'un flacon de Mariotte : 1° lorsque le liquide n'est soumis à aucune action électrique; 2° lorsque le liquide est traversé par un courant galvanique de même sens et ensuite dans le sens opposé au courant d'eau.

Dans les deux cas, le passage du liquide à travers la paroi poreuse d'un appareil cloisonné placé sur le trajet est le même.

4° En observant des parcelles de gomme-laque en suspension dans l'eau. Les parcelles ne sont pas entraînées par un courant galvanique traversant le liquide.

Deuxième série. — Avec appareil diaphragmé.

Un vase a été partagé en deux compartiments par une membrane tendue et est rempli du liquide étudié. Aucun déplacement du diaphragme n'est sensible au moment du passage du liquide à travers les pores.

Les conclusions de Van Breda et de Logeman (*loc. cit.*, p. 155) sont les suivantes : « Un effet mécanique sur le liquide traversé par le courant, du moins dans les circonstances de nos expériences, n'a pas lieu. »

La négation du transport des particules matérielles par le courant n'implique pas le rejet des lois fondamentales.

Van Breda et Logeman rapportent dans le même mémoire la vérification des lois expérimentales de M. G. Wiedemann :

1° Proportionnalité des quantités à l'intensité, les autres circonstances étant les mêmes.

2° Indépendance de l'épaisseur du diaphragme dont l'action est réduite à une modification de la résistance que le courant éprouve dans son passage à travers le liquide.

3° Diminution de la variation de volume avec l'augmentation de conductibilité du liquide.

Les tentatives de Matteucci (*Comptes rendus de l'Ac. des sc.*, t. LI, 1860, p. 914. — *Archives des sciences physiques et naturelles*, bibliothèque de Genève, t. X, 1861, p. 180), pour vérifier l'une des conséquences de l'hypothèse du transport, aboutissent à un résultat négatif.

Une caisse rectangulaire est partagée en six compartiments avec des diaphragmes en porcelaine ; tous les compartiments sont remplis d'eau de puits au même niveau.

Un courant produit par 10, 15, 20 éléments

Grove est amené à travers le liquide ; l'effet est le suivant : « Le liquide monte dans la cavité de l'électrode négative, s'abaisse dans la cavité de l'électrode qui est immédiatement en contact avec celle-ci ; dans l'autre cavité extrême ou celle de l'électrode positive, le liquide s'abaisse, mais moins qu'il ne s'élève dans la première cavité elle-même et il s'élève dans la cavité immédiatement après celle de l'électrode positive... Dans les cavités intermédiaires, le liquide reste généralement stationnaire pendant plusieurs heures ; mais, après un certain temps, le liquide s'élève dans ces cavités vers l'électrode positive, et s'abaisse dans celles tournées vers l'électrode négative.

Les variations de niveau ne suivent pas une progression régulière de l'une des électrodes à l'autre.

Mateucci rejette l'hypothèse de M. G. Wiedemann et attribue les résultats à l'endosmose résultant du défaut d'homogénéité produit par le courant.

Une nouvelle objection est faite à l'hypothèse de M. G. Wiedemann, par de la Rive *Traité d'Electricité*, t. III, édition 1858, p. 737, à la suite de l'expérience publiée dans le *Traité d'Electricité*, t. II, édition 1856, p. 379.

Un voltamètre à eau acidulée est placé dans le même circuit qu'un appareil à cloison plein d'eau ordinaire. La quantité de gaz dégagé dans l'appareil cloisonné est exactement la même que la quantité de gaz dégagé dans le voltamètre. Or, s'il y avait transport de l'eau indépendant de l'électrolyse, ce travail devrait trouver son équivalent dans une décomposition d'eau plus abondante au voltamètre, ce qui n'a pas lieu ; il semblerait résulter de là que, dans les deux appareils, il y a simplement deux effets chimiques équivalents. La même expérience a été refaite par Van Breda et Logeman (*loc. cit.*, p. 156) et a amené au même résultat.

En résumé, les résultats des expériences entreprises pour établir une démonstration directe et certaine de l'hypothèse de M. G. Wiedemann sont négatifs ; l'abandon serait la conséquence de la discussion précédente, si M. G. Wiedemann n'avait pas déduit de cette hypothèse des conclusions remarquables vérifiées par l'expérience.

2. *Relations déduites des lois expérimentales et de l'hypothèse fondamentale du transport de la matière par l'électricité.*

1. *Équivalence entre la force électromotrice déterminant le transport et une pression hydrostatique.* — D'après l'hypothèse de M. G. Wiedemann, un courant électrique entraîne un liquide à travers un diaphragme et le passage a lieu comme si le courant électrique n'existant pas, on exerçait sur l'une des faces convenablement choisie du diaphragme, une pression proportionnelle à l'intensité I, à la résistance du liquide, à l'épaisseur de la paroi, et inversement proportionnelle à la surface du diaphragme.

Ceci posé, soit un liquide séparé en deux régions par un diaphragme de chaque côté duquel on applique deux plaques de métal réunies par un fil conducteur dont la résistance est négligeable.

La force électromotrice E qui existe entre les plaques développera un courant dont l'intensité I est proportionnelle à cette force électromotrice E, à la surface s, en raison inverse de l'épaisseur e de la paroi poreuse et de la résistance ρ du liquide ; c étant une constante :

$$I = c \frac{Es}{e\rho};$$

le courant tend à porter le liquide d'un côté de la paroi à l'autre par une force mesurée par une colonne de mercure dont la hauteur, d'après les lois établies expérimentalement, est

$$H = C^{te} \frac{I\rho e}{s};$$

en éliminant I entre les deux équations précédentes :

$$H = C^{te} E.$$

Résultat que l'on peut énoncer de la manière suivante : La force électromotrice existant entre les deux côtés d'une paroi poreuse plongée dans un liquide, tend à transporter le liquide du côté positif vers le côté négatif, avec une force qui est égale à une pression proportionnelle à cette force électromotrice elle-même.

2. *Des pressions à l'intérieur d'un circuit formé par deux liquides dans des vases diaphragmés.* — Si dans un circuit fermé, constitué par deux liquides LL′, il existe une force électromotrice sur l'une des surfaces S_1 de contact et si on plonge dans chaque liquide un diaphragme poreux D qui le divise en deux parties, le courant voltaïque produit, mettra chacun de ces liquides en mouvement à travers le diaphragme qui y est plongé avec une force mesurée par une pression hydrostatique directement proportionnelle à la résistance du liquide et en raison inverse de la section. Il y aura donc entre les deux pressions P_1 P_2 existant des deux côtés de chaque paroi une différence variant comme il vient d'être dit :

$$P_1 - P_2 = C^{te} \frac{\rho}{s}$$

les différences de tension électrique, d'après la loi d'Ohm, suivent la même loi

$$E_1 - E_2 = C^{te} \frac{\text{résistance}}{\text{section}}$$

remarque faite par M. G. Wiedemann (*Ann. Pogg.*, t. LXXXVII, 1852, p. 351).

3. *Concordance des résultats trouvés par la méthode dynamique et par la méthode statique.* — Deux méthodes, l'une dynamique, l'autre statique, ont permis d'établir par l'expérience seule deux lois fondamentales renfermées dans les deux relations suivantes :

U désignant le volume de liquide entraîné ;
I l'intensité du courant galvanique ;
ρ la résistance ;
e l'épaisseur du diaphragme ;
s la surface ;
P la pression hydrostatique qui permet d'empêcher le passage du liquide ;
Cte une constante ;

$$U = C^{te} I\rho \qquad (1)$$

U est indépendant de e et de s.

$$P = C^{te} \frac{I\rho e}{s}. \qquad (2)$$

D'après l'hypothèse de M. G. Wiedemann, le courant entraîne le liquide à travers le diaphragme ; d'après l'expérience, le passage est arrêté par une pression P, l'action électrique est donc assimilable à l'effet d'une pression produisant l'écoulement à travers des tubes très étroits ; le rapprochement des relations (1) et (2) des lois de Hagen et de Poiseulle sur l'écoulement des liquides à travers les tubes capillaires permet d'établir une relation entre les lois expérimentales trouvées par les deux méthodes.

Le débit Q, d'après la loi de Poiseulle, est, en désignant par r le rayon, par L la longueur du tube, par P la pression, par Cte une constante

$$Q = C^{te} \frac{Pr^4}{L}. \qquad (3)$$

Si le tube unique était remplacé par un faisceau de n tubes identiques, le débit dans le même temps, sous une même pression, serait

$$nQ = C^{te} \frac{nPr^4}{L} \qquad (4)$$

Si on assimile le diaphragme à un faisceau de n tubes capillaires identiques de rayon r et si l'on exerce une pression proportionnelle à l'intensité I, à la résistance, à l'épaisseur e et inversement proportionnelle à la surface s, le débit est :

$$nQ = C^{te} \frac{I\rho e}{s} \frac{n}{L} r^4 \qquad (5)$$

or, e est proportionnel à la longueur l, s est proportionnel au nombre n des tubes, par suite :

$$nQ = C^{te} I\rho r^4. \qquad (6)$$

Sous la forme de l'équation (6) on voit que le débit est proportionnel à l'intensité I, à la résistance, indépendant du nombre des tubes ou de la surface, indépendant de la surface du diaphragme.

4° *Relation entre la résistance d'une dissolution saline, le poids de sel dissous par litre et le coefficient de frottement intérieur du liquide.* — M. G. Wiedemann a déduit des mêmes lois une relatiou inattendue beaucoup plus importante. D'après les lois fondamentales établies expérimentalement par M. G. Wiedemann :

1° La quantité de liquide entraînée par des courants de même intensité à travers un diaphragme est proportionnelle à la résistance du liquide :

$$U = C^{te} \rho \qquad (7)$$

2° La résistance ρ est inversement proportionnelle au poids G de sel dissous par litre d'eau :

$$\rho = \frac{C^{te}}{G} \qquad (8)$$

3° D'après la méthode statique, la pression qui fait équilibre à l'action électrique, lorsque des dissolutions d'un même sel, de résistance différente, sont traversées par des courants de même intensité, est proportionnelle à la résistance

$$P = C^{te} \rho \qquad (9)$$

4° La force qui entraîne le liquide à travers le diaphragme est une différence de pression P entre les deux faces du diaphragme.

Si l'on désigne par U le volume du liquide entraîné pendant l'unité de temps à travers le diaphragme, par s le poids spécifique du liquide, par k le coefficient de frottement intérieur du tube, par r le rayon,

$$U = \frac{1}{4} \frac{\pi P r^4}{L s k}. \qquad (10)$$

Si des dissolutions inégalement concentrées d'un même sel, ou si différents liquides s'écoulent à travers le même tube, l'équation (10) peut être mise sous la forme :

$$U = C^{te} \frac{P}{k}. \qquad (11)$$

En éliminant U et P entre les équations (7) (9) (11), en tenant compte de l'équation (8), on obtient :

$$\frac{G\rho}{k} = C^{te} \qquad (12)$$

relation remarquable déduite directement par M. G. Wiedemann des lois expérimentales et que M. G. Wiedemann énonce ainsi :

La résistance électrique d'une dissolution est proportionnelle au coefficient de frottement du liquide et inversement proportionnelle à la teneur en sel.

La vérification de la relation (12) a été l'objet de recherches de M. G. Wiedemann. Le tableau suivant renferme les résultats des mesures faites sur des dissolutions dont M. G. Wiedmann avait déterminé directement la concentration, la résistance et le coefficient de frottement (*Ann. Pogg.*, t. XCIX, 1856, p. 221, 230).

NOMS	VALEURS maxima et minima de G.		RAPPORT approximatif des valeurs maxima et minina de G.	VALEURS maxima et minima trouvées pour le produit.		RAPPORT des valeurs maxima et minima du produit.
Sulfate de cuivre	31,17	187,02	6	22,8	24,2	1,06
Azotate de cuivre	24,5	91,6	4	94,3	106,9	1,13
» d'argent	42,5	170	4	138	168	1,21
Acide sulfurique	3,37	193,96		158,7	436,6	
Potasse	31,7	123,60		122	126,7	1,03
Azotate d'ammoniaque	25	10		497	571	1,4

La vérification de la relation est d'autant plus approchée que la quantité de liquide entraînée du pôle positif au pôle négatif est plus grande, dans le cas de quantités égales de sel décomposé. La vérification, très satisfaisante avec le sulfate de cuivre, l'est moins avec l'azotate de cuivre et l'azotate d'argent, n'a plus lieu avec l'acide sulfurique.

5. *Assimilation de la résistance électrique à un frottement.* — Une relation entre le coefficient de frottement, la concentration et la conductibilité électrique est fondamentale pour la physique moléculaire. La loi énoncée par M. G. Wiedmann a été le point de départ de recherches nombreuses pour en vérifier l'exactitude et en déterminer la généralité. Les limites de ce mémoire ne permettent pas d'en résumer le développement. Je me bornerai à signaler deux résultats intéressants obtenus dans l'étude des variations de la conductibilité avec la température.

M. Grossmann (*Ann. Wiedem.*, t. XVIII, p. 119) en rapprochant les expériences de MM. Kohlrausch et Grotrian sur la conductibilité de divers chlorures et du sulfate de zinc en dissolution dans l'eau et les expériences de M. Grotrian sur le frottement intérieur des mêmes dissolutions en a déduit la loi suivante : « Le produit de la conductibilité électrique par le frottement intérieur est, pour un même sel, au même état de dilution, indépendant de la température. » Lorsque la concentration est réduite à quelques centièmes ou à quelques millièmes, le frottement intérieur est le frottement de l'eau ; la loi énoncée par M. Grotrian est : Le produit de la conductibilité électrique d'une dissolution saline par le frottement intérieur de l'eau est indépendant de la température.

La quantité d'eau qui s'écoule dans un même temps, à travers un tube capillaire, est inversement proportionnelle au coefficient de frottement intérieur. L'énoncé précédent peut être remplacé par le suivant : La conductibilité électrique varie proportionnellement à la quantité d'eau qui s'écoule dans un même temps à travers un même tube capillaire, aux diverses températures et sous une même pression.

D'après l'ensemble des expériences de M. Bouty sur les sels neutres normaux (*Journal de Phys.*, IIe série, t. III, 1884, p. 351), la conductibilité des dissolutions salines étendues varie proportionnellement au binôme

$$1 + 0{,}0336 95\, t \qquad (13$$

D'après Poiseulle, la quantité d'eau qui s'écoule à travers un tube capillaire, aux différentes températures et sous une même pression, varie proportionnellement au trinôme

$$1 + 0{,}0336793\, t + 0{,}000209936\, t^2. \qquad (14)$$

Les limites de température des expériences de Poiseulle et de M. Bouty sont très sensiblement les mêmes.

Le coefficient principal, celui du terme en t dans les formules (13) et (14) est le même.

« Sans chercher, pour le moment, dit M. Bouty (*loc. cit.*) à interpréter la différence qui résulte de l'absence du terme en t^2 dans la formule de conductibilité, il semble que l'on peut, dès aujourd'hui, considérer comme démontré que la résistance électrique est de la même nature qu'un frottement. »

La diminution progressive de la concentration des dissolutions amène naturellement à considérer le cas où le poids de sel dissous est nul et où le liquide employé est l'eau distillée. L'énoncé de la loi appliquée à ce cas particulier est : La résistance électrique de l'eau aux différentes températures est proportionnelle au coefficient de frottement intérieur.

La loi a été vérifiée par M. Foussereau (*Journal de Phys.*, II[e] série, t. IV, 1885, p. 211-212) entre 0 et 21°, température au delà de laquelle le verre est attaqué par l'eau.

Considérant ensuite le cas opposé de sels anhydres maintenus en fusion, M. Foussereau (*loc. cit.*, p. 215) a pu vérifier la proportionnalité de la résistance électrique et du coefficient

***

de frottement intérieur, à différentes températures, avec le chlorate de potasse, les azotates de soude, de potasse, d'ammonium, le chlorure de zinc.

L'assimilation des deux sortes de phénomènes a été proposée pour la première fois par M. G. Wiedemann (*Die Lehre von der Elektricität*, 3e édit. de *Galvanismus und Electromagnetismus*, t. II, p. 944 et suiv., Braunschweig, 1883).

6. *Conclusions relatives à la théorie de M. G. Wiedemann.* — La voie dans laquelle s'est engagé M. G. Wiedemann est seulement indiquée, les tentatives de M. G. Wiedemann pour préciser l'explication des faits sont basées sur les trois hypothèses suivantes (t. XCIX, p. 207) :

1° Le passage de l'électricité à travers un électrolyte a lieu dans une seule direction, cette direction est celle du courant électrique (du pôle positif au pôle négatif en dehors de la pile) ;

2° Le courant se divise, à l'entrée dans l'électrolyte, en deux parties : l'une, la plus considérable, traverse le sel, l'autre négligeable au point de vue électrolytique, est transmise par le dissolvant ;

3° Le courant transporte toutes les substances qu'il rencontre sur son passage du pôle positif au pôle négatif, ou inversement. Une action que M. G. Wiedemann appelle *action mécanique* s'ajoute à l'action électrolytique pure.

Par suite de la troisième hypothèse, le sel dissous est transporté; ce phénomène tend à diminuer la concentration au voisinage du pôle positif. En même temps, le dissolvant, l'eau, est transporté dans la même direction, et si l'on peut négliger l'*action électrolytique* de la petite partie du courant qui traverse le dissolvant, on ne peut négliger l'*action mécanique* qui se manifeste avec beaucoup plus d'énergie. « M. G. Wiedemann rappelle en effet avoir démontré dans un précédent travail qu'un courant peut transporter dans un temps donné, du pôle positif au pôle négatif, un volume d'eau triple du volume des gaz détonants qu'il dégage dans le voltamètre. Ainsi, pour un gramme d'eau décomposée, il y aurait 6 kilogrammes d'eau transportée. »

S'il n'y a pas de paroi poreuse, l'eau et le sel s'accumulent au pôle négatif, et pour que l'équilibre hydrostatique subsiste, il faut qu'un volume de dissolution non décomposée passe du côté du pôle positif. La paroi poreuse s'oppose à ce dernier phénomène et permet de déterminer la proportion de liquide transporté.

Le développement des trois hypothèses énoncées plus haut en vue d'établir la loi expérimentale suivante : « *Entre certaines limites*, l'accroissement de volume qu'éprouve la dissolution voisine du pôle négatif est inversement proportionnel à la concentration », exige le calcul du rapport des intensités des deux courants dans lesquels est partagé le courant primitif, l'un de ces courants traversant le sel, l'autre le dissolvant.

Un semblable calcul, basé sur la connaissance des résistances du sel et du dissolvant, ne saurait être admis après les recherches de M. Bouty sur la conductibilité des dissolutions salines étendues. (*Ann. de Chimie et de Phys.*, 6e série, t. XIV, 1888, p. 71.) « Les sels solides, dit M. Bouty, sont isolants, et la résistance moléculaire des sels dissous varie avec la dilution; on ne peut donc envisager la résistance du sel dissous indépendamment de l'eau de dissolution ; on ne peut donc se livrer à aucun calcul rationnel faisant intervenir la conductibilité propre de l'eau. »

Les raisonnements développés par M. Wiedemann pour expliquer par quel jeu de forces les sels suivent la loi $\frac{G\rho}{k} = C^{te}$, par suite de quelles réactions l'acide sulfurique s'écarte de la loi, ne peuvent pas être admis aujourd'hui.

L'interprétation rationnelle des faits ne peut être basée que sur une connaissance complète de la constitution des électrolytes. Les données expérimentales sont insuffisantes pour fixer cette constitution. Les recherches

modernes, l'étude de la conductibilité des dissolutions en particulier, les recherches de M. Bouty (*Ann. de Chimie et de Phys.*, *loc. cit.*) notamment ont amené à classer les substances minérales en trois groupes, les dissolutions des sels anhydres, les dissolutions des sels hydratés, les dissolutions des acides et des bases.

Les lois précises dans le cas des sels cessent de l'être dans le cas des acides et des bases en dissolution. Le corps soumis à l'expérience est indéterminé dans le cas des acides et des bases en dissolution dans l'eau. Les acides et les bases forment avec l'eau des hydrates nombreux. Le rapprochement des phénomènes observés, d'une part, avec les sels, d'autre part, avec les acides et les bases, nécessiterait la détermination de l'hydrate décomposable par le courant qui sépare les éléments du sel considéré dans l'énoncé des lois. La remarque avait été faite dans le cas de l'acide sulfurique par M. Bourgoin (*Ann. de Chimie et de Phys.*, 4e série, t. XV, p. 47, 1868 ; *Journal de Phys.*, *loc cit.*, p. 347).

La question ainsi restreinte au cas des sels est encore loin d'être résolue. Les seules dissolutions dont une constitution hypothétique ait été proposée sont les dissolutions extrêmement étendues.

Les lois et les raisonnements établis dans le cas des dissolutions extrêmement étendues ne sont pas applicables aux dissolutions de concentration moyenne employées par M. G. Wiedemann.

(*A suivre.*)

G. GOURÉ DE VILLEMONTÉE.

LA TURBINE DE LAVAL

LES TURBINES DE L'EXPOSITION DE STOCKHOLM

L'un des moteurs à vapeur les plus remarquables dont l'industrie ait été mise en possession en ces dernières années est assurément la turbine de Laval, dont les applications se montent actuellement, pour la seule France, à plus de 20 000 chevaux. C'est en particulier dans le matériel moteur destiné à la production de l'énergie électrique qu'elle a conquis une place importante; en outre, ses constructeurs s'engagent actuellement dans une voie qui semble être pleine de promesses en ce qui concerne l'amélioration du rendement de la vapeur : à ce double titre, il nous a semblé qu'une description de cet intéressant appareil, bien que déjà connue de bon nombre d'électriciens, trouverait ici une place justifiée.

Ce n'est pas d'aujourd'hui qu'on a songé à utiliser dans la vapeur non pas sa pression, comme c'est le cas lorsqu'on la fait agir sur le piston des machines à vapeur, mais la *vitesse* qu'elle peut acquérir lors de sa détente, et qu'il est alors possible de mettre à profit dans un mécanisme analogue à celui des turbines hydrauliques. Cette idée se justifie par le fait que les turbines hydrauliques étant d'excellents instruments, on peut espérer faire participer à leurs qualités des moteurs à vapeur basés sur des principes analogues. Toutefois les premiers essais couronnés de succès qui aient été effectués à cet égard ne remontent qu'à 1884, et le nom de M. Parsons y est intimement lié.

Dans tous les turbo-moteurs réalisés jusque vers 1893, le mode d'action de la vapeur participait encore beaucoup de son mode d'action sur le piston des machines alternatives, en ce sens que la détente s'opérait dans l'aubage même et que c'était cette détente qui poussait la roue. De là un premier inconvénient, car la pression étant nécessairement très faible du côté du condenseur et très forte du côté du générateur de vapeur, une partie de la vapeur passait directement de l'un à l'autre

côté par les jeux de la roue mobile, sans avoir agi sur celle-ci.

Pour diminuer cette cause de perte, il est vrai, et en même temps pour faciliter la détente, on a été promptement amené à opérer celle-ci en échelons, la vapeur passant successivement, par l'intermédiaire de distributeurs fixes, à travers plusieurs roues mobiles. De cette façon la différence de pression entre les deux faces de chaque aube n'étant plus qu'une fraction de la pression totale, les fuites de vapeur sont diminuées dans une forte mesure. Mais par contre, c'est là une complication considérable, et il ne reste plus grand'chose, dans un appareil ainsi conçu, de l'admirable simplicité des turbines hydrauliques. En outre, la nécessité subsiste toujours de réduire le jeu des pièces tournantes au strict minimum, d'où un ajustage extrêmement minutieux sous peine, ou de frottements considérables, ou d'une consommation exagérée de vapeur.

PRINCIPE DE LA TURBINE DE LAVAL

Mais on peut opérer d'une façon totalement différente : il n'est pas indispensable de produire la détente de la vapeur dans les organes mêmes de la turbine. Si au sortir de la chaudière on fait détendre la vapeur, son énergie calorifique se transformera en énergie cinétique aux dépens de sa température, et l'energie qui apparaîtra ainsi sous forme de quantité de mouvement sera précisément égale à celle qui serait fournie par la détente graduelle derrière un piston. Cette énergie cinétique pourra alors être récupérée un peu plus loin à l'aide d'un mécanisme analogue à celui des turbines d'action.

C'est à ce procédé qu'a imaginé d'avoir recours M. de Laval. Le principe fondamental de sa turbine consiste donc à faire détendre complètement la vapeur avant son arrivée sur les aubes, de sorte qu'il n'utilise ainsi d'une manière exclusive que de la force vive.

On conçoit les avantages de cette manière de procéder. D'abord, il n'y a pas de différence de pression appréciable entre le côté de l'admission de la vapeur et le côté de l'échappement, de sorte que les pertes de vapeur par les jeux sont totalement éliminées. Ceci est si vrai qu'en pratique on a pu réserver par construction et sans le moindre inconvénient *un jeu de 2 mm* entre le disque rotatif et les parois de la chambre dans laquelle il tourne, la vapeur suivant tout naturellement le chemin que lui offrent les canaux des aubes et n'en cherchant pas d'autres si ces aubes ont bien le profil convenable. Du même coup, les frottements ont été entièrement supprimés, de sorte que la consommation de vapeur reste identiquement semblable à elle-même, quel que soit le temps pendant lequel l'appareil a fonctionné.

Enfin, la vapeur arrivant entièrement détendue sur le disque mobile, celui-ci n'a jamais à supporter la température considérable de la vapeur à haute pression, et surtout il n'est jamais soumis à ces alternatives de haute et basse température qui, dans les machines à piston, sont la cause de ces condensations si préjudiciables au rendement.

La turbine de Laval, dont la fig. 1 représente une vue en perspective, est comme on voit analogue à une turbine d'Euler à axe horizontal et à libre écoulement. La vapeur complètement détendue est amenée sur les aubes de la roue par plusieurs ajutages faiblement inclinés sur le plan de la roue, comme l'indique la figure. La vapeur arrive donc par une des faces du disque et sort par l'autre face.

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

Pour nous rendre compte des conditions de fonctionnement d'un appareil de ce genre, appliquons les quelques considérations suivantes, résultant de la théorie des turbines axiales, à la détermination de la vitesse absolue de la vapeur à la sortie.

Le profil des aubes OO (fig. 2) doit être calculé de telle sorte que le cheminement de la vapeur d'une face à l'autre de la roue, le long de la paroi de ces aubes, s'amorce d'abord

sans chocs, puis que la vapeur change progressivement de direction en cédant petit à petit sa force vive, et sorte avec une vitesse absolue aussi faible que possible.

Appelons V la vitesse absolue de la vapeur à l'entrée, celle-ci étant amenée par les ajutages en A sous un angle α par rapport au plan de la roue (fig. 2).

Pour que la vitesse absolue V' de la vapeur à la sortie soit minima, il faut qu'elle sorte avec une vitesse relative v'' par rapport à la roue, égale à la vitesse absolue v de celle-ci. Or, pour arriver à ce résultat, il faut que la vitesse relative d'entrée v' de la vapeur sur l'aubage soit elle-même égale à v. La vitesse relative d'entrée v' se détermine en gran-

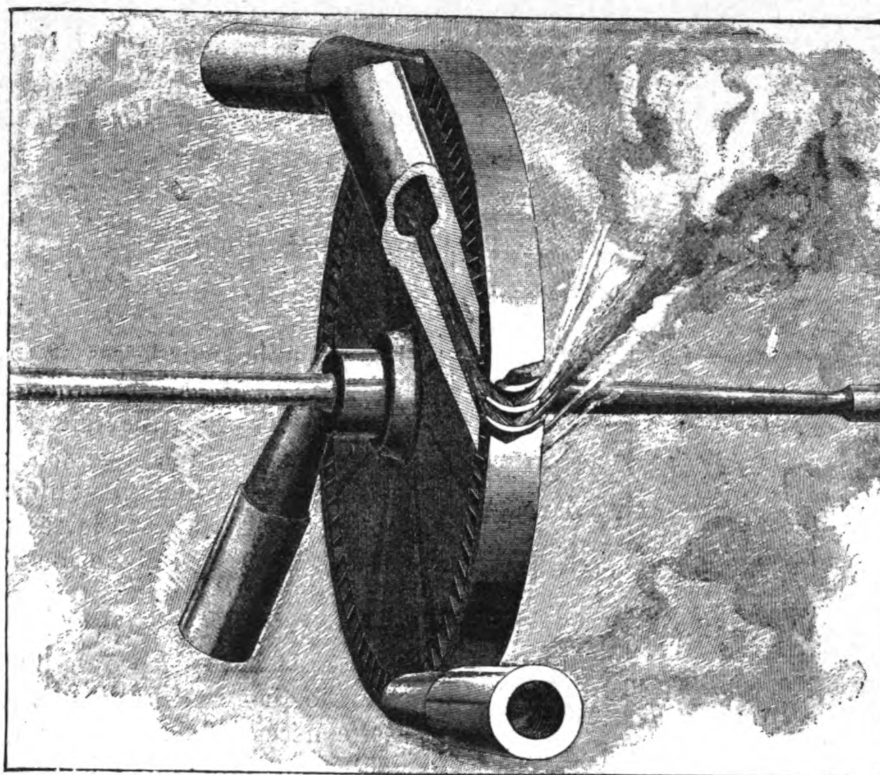


Fig. 1. — Vue en perspective du disque mobile de la turbine.

deur et en direction par le parallélogramme construit avec v comme côté et V comme diagonale : pour que v' soit égal à v il faudra que ce parallélogramme soit un losange et que par suite $v = \frac{V}{2 \cos \alpha}$.

La direction de la vitesse relative v' de la vapeur à l'entrée obtenue par la construction précédente indique évidemment l'inclinaison initiale des aubes nécessaire pour qu'il n'y ait pas de chocs à l'admission. On voit que cette inclinaison doit être justement égale au double 2α de celle de l'ajutage distributeur. De plus, l'angle d'inclinaison des aubes à la sortie doit être le même que celui à l'entrée.

D'autre part, on a d'après ce qui précède, pour la vitesse relative v'' de la vapeur à la sortie, $v'' = v' = v = \frac{V}{2 \cos \alpha}$, et la vitesse absolue de sortie V' est donnée par la composition de v'' et de v. On a par suite

$$V' = 2\, v \sin \alpha.$$

Or, la quantité d'énergie cinétique apportée par la vapeur est $\frac{1}{2} m \, V^2$. Celle qu'elle emporte est $\frac{1}{2} m \, V'^2$. Le rendement théorique est donc

$$R = \frac{V^2 - V'^2}{V^2}.$$

En remplaçant V' par sa valeur $2v \sin \alpha$ et remarquant que $v = \frac{V}{2 \cos \alpha}$ il vient

$$R = 1 - \mathrm{tg}^2 \alpha.$$

On voit que pour obtenir le maximum de rendement, α doit être aussi faible que pos-

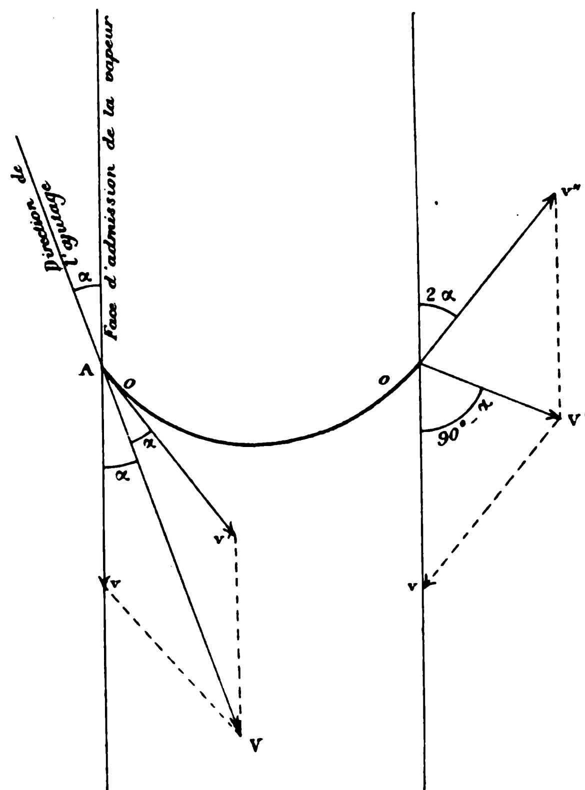


Fig. 2. — Action de la vapeur sur une aube.

sible. En pratique cependant on ne peut guère faire $\alpha < 20°$, de sorte que le rendement maximum qu'on peut espérer d'un appareil de ce genre ressort à 87 p. 100.

Cette considération du rendement maximum conduit à une autre relation intéressante. Nous avons vu que la vitesse linéaire périphérique de la roue est

$$v = \frac{V}{2 \cos \alpha}.$$

Comme d'autre part α doit être aussi faible que possible, on a pratiquement $v = \frac{V}{2}$.

Ainsi, pour obtenir un bon rendement, la vitesse périphérique de la roue devrait être sensiblement égale à la moitié de la vitesse d'écoulement de la vapeur.

Mais celle-ci est extrêmement considérable, surtout si l'on applique la condensation, comme permet d'en juger le tableau suivant :

NATURE de l'écoulement.	VAPEUR à 1 atmosph.	VAPEUR à 6 atmosph.	VAPEUR à 10 atmosph.
Écoulement dans l'air.	735 m : s	775 m : s	892 m : s
Écoulement sous 0,1 k : cm² de pression	1 070 »	1 120 »	1 189 »

Par exemple dans le cas de vapeur à 6 atmosphères et dans l'hypothèse de la condensation, la roue devrait tourner à la vitesse périphérique de 560 mètres par seconde : il est évidemment difficile d'arriver à ce résultat par suite de la résistance même de la matière ; en pratique, on ne peut guère aller au delà de 400 mètres par seconde, ce qui se traduit déjà par des vitesses angulaires énormes de 15 à 30 000 tours par minute suivant le diamètre du disque.

Cette nécessité de marcher à des allures notablement inférieures à celles indiquées par la théorie ne se traduit heureusement pas par un trop grand sacrifice sur le rendement. Si l'on calcule en effet le rendement à différentes allures, d'une manière analogue à celle qui précède, en donnant aux aubes pour chaque vitesse une inclinaison d'autant plus voisine de α que la vitesse est plus faible, on obtient la courbe représentative figure 3, faite dans l'hypothèse d'une vitesse d'écoulement de la vapeur de 1 000 m : s. On voit que si la vitesse périphérique du disque était de 500 m : s, le rendement serait de 87 p. 100, valeur maxima, que si la vitesse du disque était seulement de 400 tours, le rendement serait encore de 85 p. 100 et ne s'abaisserait qu'à 73 p. 100 dans le cas d'une

vitesse de 300 m : s. On peut donc s'en tenir sans trop d'inconvénient à des allures relatiment faibles.

Par contre, il importe de considérer que les conditions d'exécution des aubes ne permettent pas d'éviter complètement les chocs, et on admet que cette intervention seule suffit pour faire passer de 87 à 75 p. 100 le rendement maximum possible. Plusieurs autres causes : frottement dans les ajutages, etc., interviennent encore évidemment pour diminuer le rendement.

Somme toute, on peut se rendre compte des résultats pratiques acquis dans la turbine Laval par les quelques renseignements suivants :

Les quantités théoriques d'énergie cinétiques mises en jeu par la détente sans condensation de 1 kg de vapeur sous 6, 8 et 12 kg : cm² sont respectivement de 30600, 35600 et 42500 kgm.

Si le rendement théorique de 87 p. 100 était obtenu, on retirerait de ce kilogramme de vapeur à différentes pressions 26600,

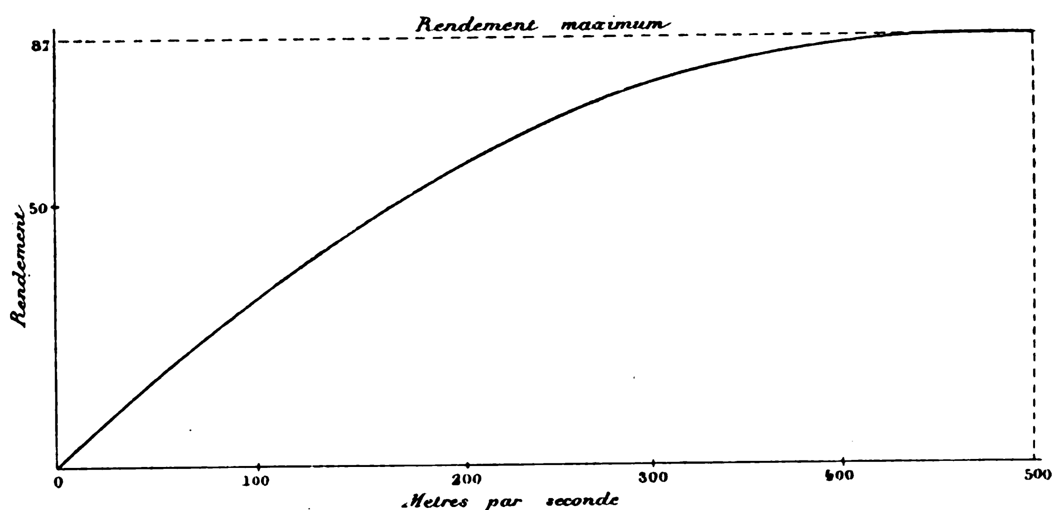


Fig. 3. — Rendement théorique en fonction de la vitesse périphérique pour une vitesse d'écoulement V = 1 000 m : s et α = 20°.

31000 et 37000 kgm. Or, une turbine de 20 chevaux fonctionnant sous 6 atmosphères soustrait sous forme mécanique 12000 kgm, une autre de 50 chevaux fonctionnant sous 8 atmosphères retire 17000 kgm, enfin, une de 100 chevaux fonctionnant sous 12 atmosphères utilise 21500 kgm par kilogramme de vapeur : cela fait ressortir le rendement organique de ces turbines respectivement à 45, 55 et 58 p. 100.

DESCRIPTION

La première conséquence qui résulte de la rapidité extrême de rotation des turbines Laval réside dans l'exiguïté de ses dimensions et dans la faiblesse des efforts transmis. C'est ainsi qu'un disque de 12 cm de diamètre tournant à 24000 tours par minute et soumis à un effort tangentiel de 4 kg seulement développe une puissance de 10 chevaux ; un disque de 30 cm de diamètre tournant à 15000 tours développe 100 chevaux. Enfin un disque de 50 cm de diamètre alimenté avec de la vapeur à 8 kg : cm² et tournant à 15600 tours développe 300 chevaux.

Mais si les efforts tangentiels mis en jeu sont très faibles, par contre, les effets dus à la force centrifuge doivent, avec des vitesses de cet ordre, atteindre des valeurs énormes. Ainsi, chaque gramme de matière placée à la périphérie d'un disque de 16 cm de diamètre tournant à 24000 tours par minute est

sollicité par une force centrifuge de 50 kg. Or, il est matériellement impossible d'obtenir un centrage absolument parfait de la roue mobile. Rien que les défauts de la matière suffiraient pour empêcher que le centre de gravité vienne coïncider exactement avec l'axe géométrique de l'arbre ; le plan de symétrie peut de son côté ne pas être rigoureusement perpendiculaire à l'arbre. La conséquence de cette imperfection inévitable est que si l'on calait le disque mobile sur un arbre rigide, il se produirait des vibrations excessives, susceptibles de compromette à bref délai la solidité de l'appareil.

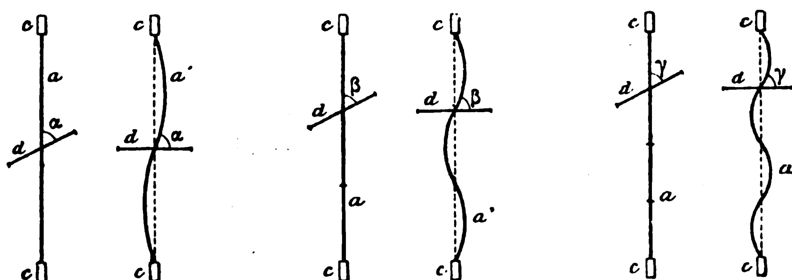


Fig. 4. — Déformation de l'arbre flexible quand son axe ne coïncide pas avec l'axe principal d'inertie, les trois groupes de dessins se rapportant respectivement au cas où le disque est au milieu, au tiers ou quart de la distance des points fixes.

M. de Laval a tourné la difficulté d'une manière extrêmement ingénieuse, quoique déconcertante au premier abord : le fait que l'arbre, par suite de sa vitesse excessive de rotation, n'a à transmettre que de très faibles efforts, a été utilisé pour réduire à la dernière limite son diamètre et par suite le rendre *flexible*.

Dans ces conditions, deux cas peuvent se présenter suivant que l'axe de l'arbre ne coïncide pas avec l'axe principal d'inertie ou que le centre de gravité n'est pas situé sur l'arbre. Dans le premier cas (fig. 4), lorsque le disque sera mis en rotation, il tendra, par suite d'une propriété gyroscopique bien connue, à tourner autour de son axe principal d'inertie, et l'arbre flexible se déformera (fig. 4, *a'*) de la quantité — très petite d'ailleurs — qui permettra au disque l'orientation nécessaire. Dans le second cas (fig. 5, *a*, *a'*, *a''*,), à la mise en route le disque commence à faire fléchir l'arbre, mais s'il n'est pas calé *au milieu* de cet arbre, ceci aura pour effet (fig. 5, *a'*) d'incliner son plan par rapport à l'axe *c c;* alors la vitesse augmentant, la même propriété gyroscopique que tout à l'heure interviendra pour redresser l'arbre (fig. 5, *a''*) et faire disparaître les frottements et les vibrations qui avaient pu apparaître dans la période intermédiaire [1].

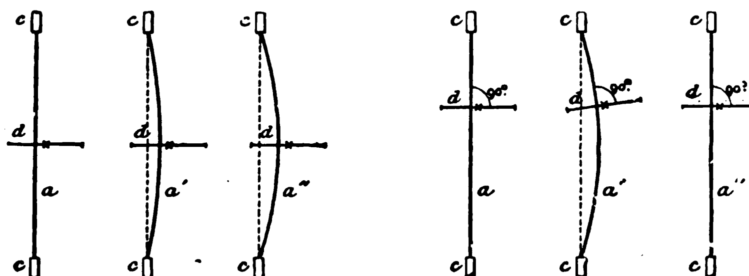


Fig. 5. — Déformations de l'arbre quand son axe ne passe pas par le centre de gravité, le disque étant fixé au milieu ou au tiers de la distance des points fixes.

En résumé, la flexibilité de l'arbre, com-

[1] Voir SOSNOWSKI, communication faite à la *Société des Electriciens* le 2 mai 1894.

binée avec le jeu qui existe entre le disque et son enveloppe, assure dans l'un et l'autre cas ou dans leur combinaison les conditions de rotation qui sont nécessaires pour éviter les vibrations.

Pour donner une idée des diamètres d'arbres auxquels on a été conduit par ces considérations, disons que l'arbre d'une turbine de 10 chevaux n'a que 4,5 mm dans sa partie la plus faible et que celui d'une turbine de 100 chevaux a 20 mm.

La figure 6 montre l'aspect sous lequel se présente le disque rotatif monté sur son arbre. Ce disque tourne dans une chambre

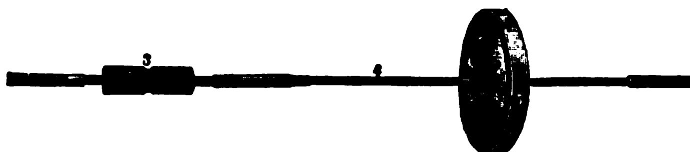


Fig. 6. — Disque calé sur son arbre et pignon de réduction.

(fig. 7) dans laquelle sont aménagés en nombre suffisant des trous *a* destinés à recevoir les ajutages distributeurs (voir fig. 1). Ces ajutages, au nombre de 2, 4, 6... suivant les modèles, peuvent être obturés séparément par

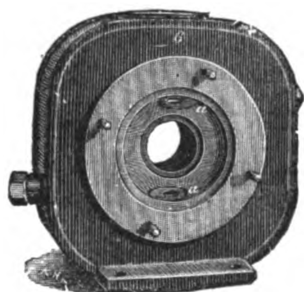


Fig. 7. — Chambre du disque rotatif.

des valves à main commandées de l'extérieur, ce qui permet de faire varier dans d'assez larges limites la puissance de la turbine et de proportionner aux besoins la consommation de vapeur. Il convient de remarquer que chaque ajutage travaille indépendamment, de telle sorte que la variation de puissance résultant de la variation du nombre d'ajutages en service est acquise à peu près sans aucun sacrifice sur le rendement et que la machine travaille encore dans d'excellentes conditions à faible charge. Il va sans dire que le réglage exact de l'admission de vapeur est réalisé indépendamment de la manœuvre des valves des ajutages à l'aide d'un régulateur automatique à force centrifuge dont nous parlerons tout à l'heure.

Les vitesses angulaires réalisées par la turbine sont trop considérables pour pouvoir être utilisées telles quelles et doivent être considérablement réduites. Aussi, sur l'arbre du disque est calé un pignon minuscule (fig. 6) s'engrenant avec la roue dentée de la figure 8 à l'aide d'un engrenage à chevrons

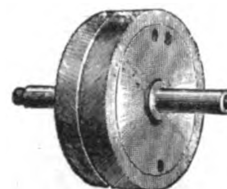


Fig. 8. — Engrenage de réduction.

comportant deux séries de dents inclinées à 45° en sens inverse, afin d'éviter les déplacements longitudinaux. Cet engrenage est placé dans une boîte à part B (fig. 9 et 10) qui fait partie intégrante du moteur et dans laquelle la circulation de l'huile est toujours assurée. C'est même cette boîte qui constitue la partie la plus encombrante et la plus lourde de l'appareil en même temps qu'il s'y dépense une notable quantité d'énergie; sans cette nécessité de la réduction, la turbine serait un instrument tout à fait merveilleux au point de vue de la puissance et de l'encombrement spécifiques.

A l'extrémité de l'arbre secondaire, côté du disque, est placé le régulateur à force centrifuge (fig. 21) dont nous venons de parler,

qui agit par l'intermédiaire d'un levier, visible sur la figure 11, sur la valve d'admission de la vapeur.

Ce régulateur, dont les détails sont donnés figure 13, se compose de deux demi-cylindres (8) pouvant pivoter sur la gaine (10) qui les maintient, laquelle est fixée par la tige qu'on voit à sa partie inférieure dans un logement pratiqué suivant l'axe de l'arbre. Les talons servant de bases aux demi-cylindres appuient contre la tête d'une pointe (11) maintenue par un ressort antagoniste (9) enfermé dans la gaine (10).

Quand la vitesse augmente, les parties antérieures des deux demi-cylindres, ouvertes normalement en forme de tulipe, s'ouvrent davantage et leurs talons viennent pousser d'une certaine quantité la tête de la pointe (11) malgré l'action du ressort antagoniste. Celle-ci agit alors sur le levier de commande de la valve pour diminuer l'admission.

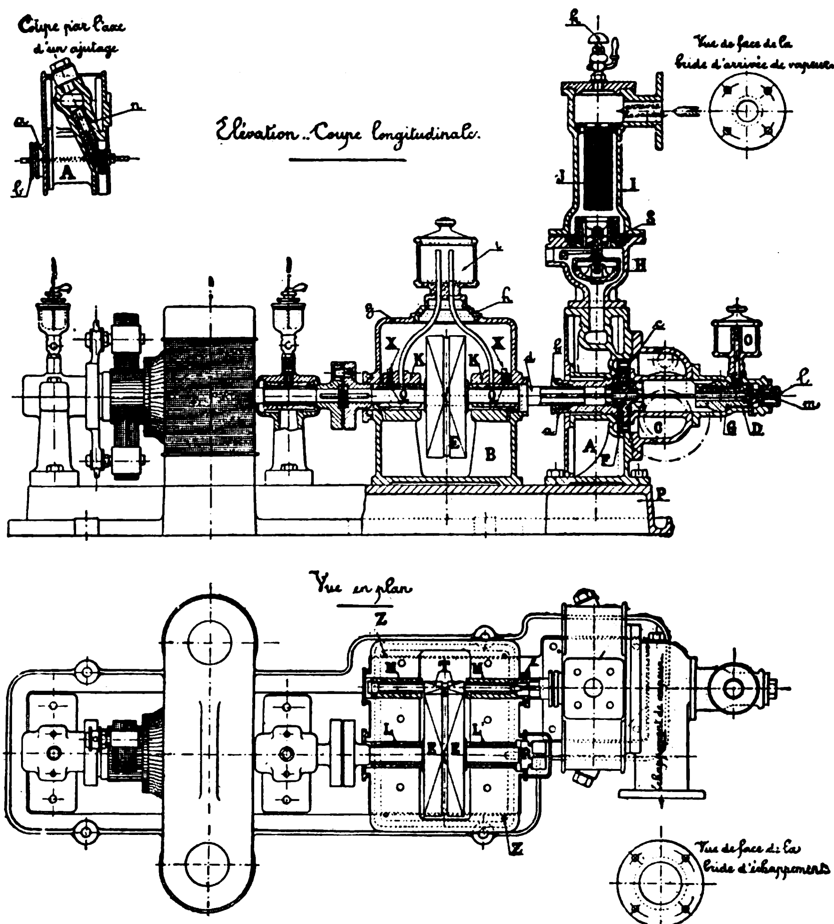


Fig. 9 et 10. — Coupe d'une turbine dynamo.

RÉSULTATS D'EXPLOITATION ET AVANTAGES SPÉCIAUX DE LA TURBINE DE LAVAL

Il résulte de nombreux essais de réception que nous croyons inutile de reproduire ici, que dans les turbines de Laval, la consommation de vapeur à 10 kg : cm² varie, suivant la puissance des turbines, de 10 à 8 kg environ par cheval-heure *effectif*. Des essais récents effectués avec des turbines de 300 chevaux ont même permis d'atteindre une consommation unitaire inférieure à 7,5 kg.

Indépendamment de cette faible consommation, les moteurs de Laval ont pour eux leur encombrement extrêmement restreint,

l'absence absolue de bruit et de trépidations, ce qui permet de supprimer complètement les fondations coûteuses et d'installer ces

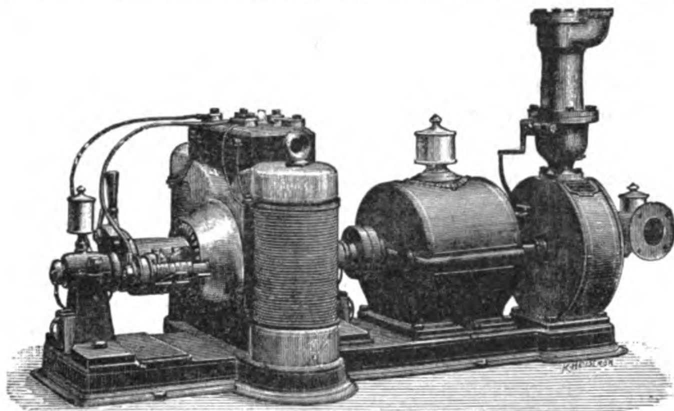


Fig. 11. — Turbine dynamo. A droite on aperçoit le mécanisme de réglage de l'admission.

moteurs sans le moindre inconvénient dans une habitation quelconque. On peut encore mentionner dans la liste de leurs avantages la simplicité très grande de leur construction, qui entraîne la facilité et la rapidité des réparations; la possibilité d'une surveillance peu active; enfin une dépense en huile et en chiffons considérablement réduite.



Fig. 12. — Régulateur.

Dans les applications à l'électricité, la dynamo est généralement accolée à la turbine, formant un ensemble (turbine dynamo) aussi compact et peu encombrant que possible et dont l'emploi commence à se répandre dans les stations centrales. Nous citerons par exemple, à Paris, les stations de la rue d'Alexandrie et de la rue de Bondy, qui possèdent chacune un groupe de 300 chevaux.

AMÉLIORATION DU RENDEMENT

Nous avons donné à entendre au début de cet article que M. de Laval était actuellement engagé dans une voie fort intéressante relativement à l'amélioration du rendement de la vapeur. Il nous reste à étudier rapidement ce qui a été fait dans cet ordre d'idées.

On sait que la cause du faible rendement des moteurs à vapeur actuels réside dans la température relativement faible de la vapeur employée, et que la seule voie dans laquelle puisse être espéré un relèvement notable à cet égard consiste dans l'emploi de vapeur à pression beaucoup plus haute. Mais, malheureusement, on sait également que ceci n'est guère possible avec les moteurs à piston, par suite de différentes raisons dont l'une des plus importantes réside dans l'impossibilité d'assurer la lubrification à une température voisine de 300°, les meilleures huiles de graissage se décomposant à cette température.

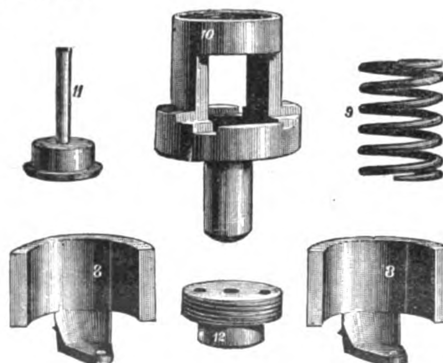


Fig. 13. — Détails du régulateur démonté.

Avec la turbine Laval, au contraire, rien de plus facile que de résoudre le problème: la vapeur arrivant détendue à la turbine, peu importe pour le moteur la grandeur de sa pression initiale; seule, la vitesse d'écoulement est augmentée, correspondant à une énergie cinétique spécifique plus grande. L'organe mobile n'étant jamais en contact avec la vapeur sous pression et par suite à haute température, la lubrification, si elle était nécessaire, ne présenterait pas de diffi-

culté. Mais cette lubrification est inutile puisque nous savons que le disque rotatif est séparé des parois de sa chambre par un jeu considérable. Quant à ce jeu, il continue à n'exercer aucune influence défavorable sur la consommation de vapeur, puisque la vapeur arrive à la turbine sous une pression voisine de celle du condenseur.

Il est donc possible, sans faire éprouver à l'appareil aucune modification, de l'alimenter avec de la vapeur à pression aussi élevée qu'on le désire : le danger ne sera pas plus grand qu'avec de la vapeur à basse pression, si le générateur est construit de son côté de façon à pouvoir résister aux pressions qu'il engendre.

Cette possibilité d'utiliser dans les turbines Laval de la vapeur à très haute pression, dans des conditions de rendement notablement meilleures a été de longue date signalée par l'inventeur comme un des motifs les plus appréciables de l'avenir de ses appareils.

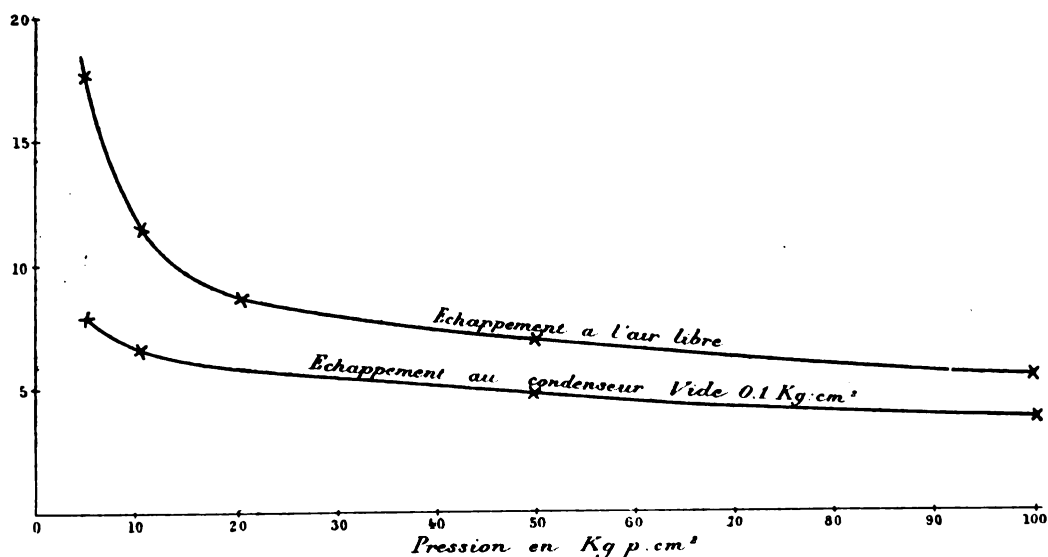


Fig. 14. — Courbe de la consommation de vapeur par cheval-heure effectif en fonction de la pression et en supposant un R' générique de 60 p. 100.

Voici à ce propos (fig. 14) les consommations de vapeur à différentes pressions nécessitées par la production de un cheval-heure effectif en admettant un rendement générique facilement réalisable de 60 p. 100 : on voit qu'en employant de la vapeur à 100 atmosphères il suffirait d'environ 4 kg par cheval et par heure en marchant avec condensateur.

Ce sont les résultats des études entreprises en ce sens qui figurent à l'exposition actuelle de Stockholm. L'exposition de la Société suédoise de Laval comporte quatre groupes électriques complets de 100 chevaux chacun, et deux groupes de 50 chevaux alimentés par des turbines fonctionnant sous des pressions pouvant atteindre 220 atmosphères (375°).

Comme le danger d'une telle installation est, ainsi que nous l'avons fait remarquer, localisé dans le générateur, on a uilisé un générateur genre Serpollet. L'eau, introduite à l'aide d'une pompe à l'une des extrémités d'un tube métallique fort épais, de 25 mm de diamètre interne, enroulé en spirale au-dessus du foyer, en parcourt avec rapidité les différentes spires et s'échappe en vapeur à l'autre extrémité; de là elle se rend en se détendant vers la turbine, sans rencontrer sur son trajet, avant sa détente, aucun réceptable d'un peu grandes dimensions qui serait une cause de danger.

La réserve d'eau et de vapeur étant ainsi à peu près rigoureusement nulle, le générateur est évidemment très sensible aux variations de charge du moteur et un système de régu-

lation tout à fait spécial doit être employé. Ce système comporte en réalité deux modes de réglage distincts qui sont employés simultanément. Le premier a pour but de faire varier l'admission de l'eau; le second, fort original, consiste à agir sur la rapidité de la combustion. On ne pouvait songer, dans un générateur de ce système, à avoir recours au tirage naturel et on a employé le tirage forcé en envoyant l'air nécessaire à la combustion à l'aide d'un ventilateur calé sur l'arbre secondaire de la turbine. C'est en faisant varier l'admission d'air par le régulateur qui agit déjà sur l'admission d'eau qu'on peut proportionner l'activité de la combustion à la vitesse d'évaporation nécessaire.

Cette application ingénieuse du tirage forcé se traduit en outre par cette intéressante conséquence que les hautes et coûteuses cheminées indispensables aux générateurs actuels peuvent être supprimées et remplacées par un simple tuyau de tôle peu élevé, destiné à porter au dehors les produits de la combustion.

Au point de vue de l'encombrement, le générateur construit sur ces données est évidemment le complément logique de la turbine de Laval, et on peut arriver avec un pareil ensemble à une compacité vraiment extraordinaire. Par exemple, l'installation complète d'une station électrique de 100 chevaux comportant générateur, pompes, turbines, dynamo, etc., occupe un rectangle de 6 m sur 4!

Il serait intéressant de pouvoir compléter par quelques chiffres cette description sommaire. Mais la commission de l'exposition de Stockholm se réservant de publier les résultats des expériences entreprises sur le fonctionnement de ces appareils, il n'a pu nous en être donné communication. Il paraîtrait seulement qu'en y comprenant toutes les dépenses d'énergie afférentes à la mise en marche des pompes d'alimentation, ventilateurs, etc., la consommation de vapeur n'aurait pas été supérieure à 6 kgr de vapeur par cheval-heure effectif. D'autre part, la production de vapeur sous 200 atmosphères (375°) réalisée par le générateur s'élèverait à 7 à 8 kgr par kilogramme de combustible. L'ensemble de ces résultats n'est peut-être pas aussi favorable qu'on pourrait l'espérer, mais il faut observer qu'il s'agit là des premiers appareils établis dans une voie aussi nouvelle : la mise au point n'en est certainement pas encore parfaite et on aurait tort de refuser à leur inventeur un crédit largement justifié par l'originalité de ses nouvelles conceptions.

G. Claude.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Régulateur électromagnétique de vitesse, système R.-P. Wilson (1).

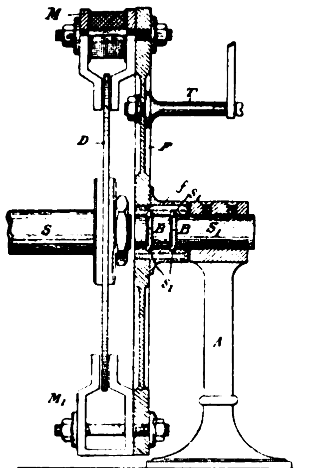
Les courants de Foucault qui prennent naissance dans un disque en cuivre ou en manganine, tournant dans un champ magnétique constant, réagissent sur ce dernier proportionnellement à la vitesse de rotation du disque.

C'est sur ce principe bien connu qu'est basé le fonctionnement du régulateur électromagnétique, représenté par les figures 1 et 2.

Dans cet appareil, le champ magnétique est produit par un électro-aimant M et un aimant permanent M_1, tous deux solidaires d'un plateau F auquel est fixé le bras de commande T d'une valve de réglage adaptée soit à une conduite de vapeur, soit à une conduite hydraulique. Ce plateau, monté sur billes s_1, se meut autour de l'arbre S_1 du support R, dans des

(1) Brevet anglais, n° 8067, déposé le 16 avril 1896, accordé le 10 avril 1897.

limites variables suivant la réaction produite sur le champ par le disque en mouvement. Ce dernier peut être calé directement sur un prolongement de l'arbre du moteur ou de la turbine, ou bien commandé, comme en figure 2, par une transmission S_1P. Dans les deux cas, le déplacement du plateau provoqué par la réaction des courants engendrés dans



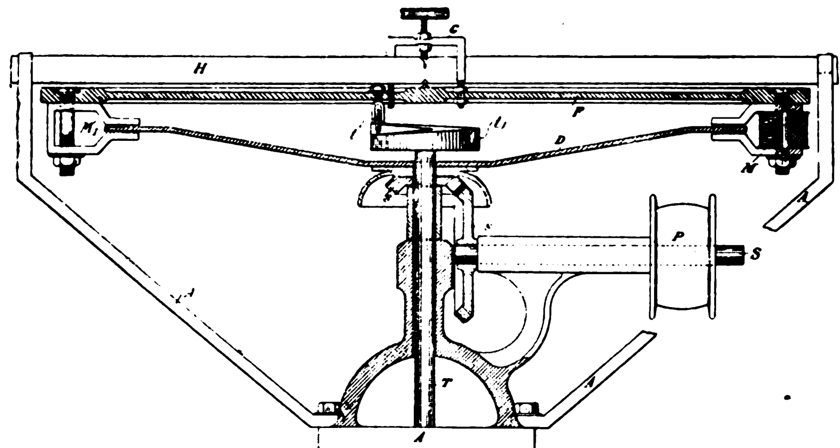


Fig. 1 et 2. — Régulateur électromagnétique de vitesse Wilson.

le disque tournant à la vitesse normale, correspond à une position également normale des organes de réglage. On conçoit donc sans peine que si la vitesse du disque varie, la position du plateau variera également en même temps que s'effectuera la régulation propre à ramener le tout au fonctionnement normal.

La figure 2 montre comment ce régulateur peut être appliqué à la commande directe de la tige de manœuvre d'une valve, par l'intermédiaire de la came t_1 de T, et des butoirs *t* solidaires du plateau F. Ce dernier est maintenu par un étrier G dont la vis constitue l'un des pivots sur le montant du cadre H. Les butées extrêmes sont constituées par les branches de l'étrier G. L. D.

Annonciateur électrique Siemens Brothers et G. Forrest [1].

Le perfectionnement que ces inventeurs ont apporté dans la construction des appareils annonciateurs consiste en une disposition particulière de l'électro qui immobilise l'écran indicateur de façon à l'empêcher de fonctionner par toute autre cause que celle du passage du courant.

L'immobilisateur (fig. 1) est un levier coudé *k* dont la branche verticale porte la goupille d'arrêt C de l'écran B et un bloc de fer K fixé

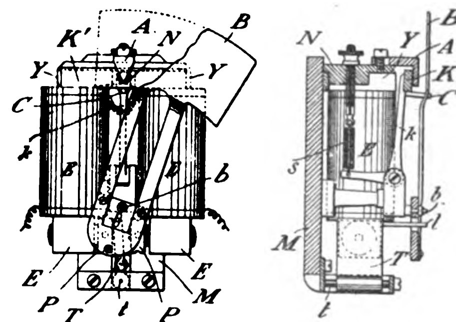


Fig. 1 et 2. — Annonciateur électrique Siemens Brothers et G. Forrest.

à son extrémité et destiné à compléter le fer à cheval du noyau en se logeant, par l'attraction de K', dans l'évidement Y de ce dernier; la branche horizontale du levier est reliée à un petit ressort à boudin S qui facilite le décollage de K quand l'attraction a cessé.

L'écran B, pivoté en *b*, est déplacé par une tige *l*, solidaire de l'armature mobile T dont le pivot *t* est fixé sur le prolongement du support M (fig. 2). Cette armature est attirée

[1] Brevet anglais, n° 12090, demandé le 15 mai 1897, accordé le 19 juin 1897.

par l'un ou par l'autre des deux pôles E, E, à écart réglable par des écrans PP, suivant la direction du courant dans les solénoïdes. Ainsi, l'appareil étant au repos, c'est-à-dire le disque ne montrant aucun signe, quand on presse le bouton d'appel correspondant, K est attiré dans son évidement et libère en même temps l'écran. Ensuite, l'un des noyaux E, E, rendu plus actif en raison de l'adjonction de K qui complète le fer à cheval, attire PT, tandis que l'autre pôle le repousse; l'écran change de position, montre le signe et reste ainsi immobilisé tant que le bouton de réponse n'a pas été pressé. Par ce dernier on lance un courant dans une direction inverse qui ramène l'écran à sa position primitive de repos. L. D.

Pile thermique au charbon H.-F. Kirkpatrick Picard (1).

L'inventeur de cette pile prétend avoir pu obtenir un courant électrique en plongeant une lame de charbon dans un électrolyte formé de litharge maintenue en fusion dans un creuset en cuivre. Ce dernier constitue l'un des pôles, l'autre pôle est de charbon. La marche du courant est la suivante : cuivre, circuit extérieur, charbon et cuivre, par l'électrolyte.

Dès la fermeture du circuit, dit l'inventeur, le plomb métallique est précipité sur le cuivre et tombe au fond du creuset; il est alors nécessaire, pour avoir un courant continu, de faire intervenir un jet d'air ou d'oxygène qui réoxyde le plomb et le transforme en litharge, laquelle communique au charbon l'oxygène nécessaire à sa combustion.

Pour diminuer les pertes considérables d'énergie dues en partie aux actions locales et à la production de la chaleur nécessaire à la fusion de la litharge, l'auteur mélange celle-ci à de la soude caustique pour former des plombates alcalins, ou bien encore avec de la soude et du silicium qui lui donnent des silicates doubles alcalins.

(1) Brevet anglais, n° 15 223, déposé le 9 juillet 1896, délivré le 9 juillet 1897.

L'emploi d'un de ces composés, comme électrolyte, a l'avantage, tout en produisant les mêmes réactions que la litharge, de diminuer notablement la dépense de chaleur extérieure par suite de leur plus grande fusibilité. L. D.

Le champ magnétique dans les armatures à trous;

Par F.-G. Baily (1).

L'auteur donne quelques explications complémentaires sur la question de l'absence d'effort tangentiel dû au champ inducteur sur les conducteurs des induits à trous.

Il rappelle que les principaux faits constatés dans ce genre d'induit sont :

1° La force électromotrice induite dans un conducteur placé dans une encoche d'une armature est la même, à égalité de flux magnétique total, que si ce conducteur était placé à la surface de l'induit.

2° L'effort tangentiel sur l'armature dû au champ magnétique reste le même, mais celui sur le conducteur est beaucoup réduit dans les induits à trous.

3° Les courants de Foucault dans les conducteurs sont également très diminués.

Il existe évidemment un grand nombre de dispositions d'induits dentés ou à trous; on peut comme cas extrême considérer celui d'un simple conducteur logé dans un trou pratiqué dans le métal magnétique se mouvant en face des pôles d'un électro-aimant. Pour simplifier nous supposerons l'induit et l'inducteur réduits à deux larges pièces polaires séparées par un entrefer (fig. 1). Si l'induction est faible et la perméabilité du métal assez grande, l'induction dans le cuivre sera très faible, mais non nulle.

Le conducteur étant dans un champ très faible il est clair que l'effort qui s'exerce sur lui est très petit et égal à HC dynes par unité de longueur, H étant l'intensité du champ en chaque point du trou et C le courant. C'est là un fait expérimental et par

(1) *The Electrician* du 15 octobre 1897, p. 810.

suite indépendant de toute théorie. Un effort est également exercé sur le fer de l'induit qui réagit sur le champ par une force égale et opposée. C'est le point d'application de ces forces qui a fait l'objet de nombreuses discussions.

M. Baily fait observer qu'il suffit de tracer les lignes de force pour reconnaître immédiatement la cause de la réaction magnétique de l'induit et de l'inducteur car quel que soit le mécanisme de l'action magnétique il n'en est pas moins vrai que le point fondamental

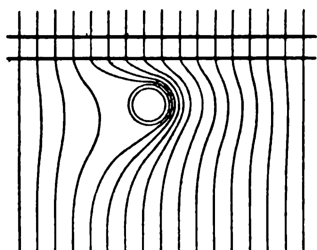


Fig. 1.

de la théorie des lignes de force est qu'il existe une certaine tension le long de ces lignes, ainsi qu'une pression perpendiculairement à leur direction, ou, en d'autres termes, que les lignes de force tendent à se contracter pour diminuer de longueur et à se repousser les unes les autres.

Cette définition même des lignes montre (fig. 1), que le fer dans le voisinage du conducteur a à subir une action mécanique, les tensions le long des lignes et les pressions ayant une résultante unique parallèle à la direction du mouvement et perpendiculaire au conducteur. Le point d'application de cette force est par conséquent sur le fer, dans le voisinage du conducteur.

L'auteur explique ensuite la production d'une force électromotrice dans le conducteur. Il y a eu deux façons de définir la force électromotrice induite. On a d'abord dit que c'était l'augmentation et la diminution pendant l'unité de temps du nombre de lignes de force comprises dans le circuit ; puis cette définition a été modifiée et la force électromotrice induite est devenue le nombre de lignes de force coupées pendant l'unité de temps par un conducteur. Ces deux définitions reviennent à la même lorsque le conducteur forme un circuit fermé, mais il est possible que la seconde soit plus exacte, car elle définit la force électromotrice en chaque point ainsi que la force électromotrice totale ; toutefois dans les calculs l'une est quelquefois plus commode que l'autre.

En particulier, dans le cas qui nous occupe on peut sans grande difficulté expliquer la production de la force électromotrice comme on l'a fait tout récemment. Celle-ci dépend du mouvement relatif du champ du conducteur, et ici il y a un déplacement rapide des lignes de force à travers le tunnel, déplacement qui s'ajoute à celui du trou lui-même. La vitesse relative du champ est inversement proportionnelle à la densité du flux en chaque point de l'air ou du fer. La distribution des lignes de force est, à l'état de repos, montrée sur la figure 2, et l'effet du mouvement a été

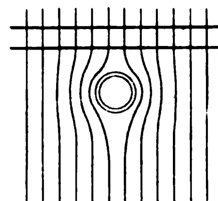


Fig. 2.

très bien mis en lumière par M. Swinburne, en le comparant à celui d'une série de tiges plus ou moins éloignées que l'on voit à travers un trou dans un wagon ou tout autre véhicule en mouvement.

Quoique l'idée de très grande vitesse de déplacement du champ par rapport au conducteur soit assez difficile à accepter à priori, elle est cependant d'accord avec nos vues sur d'autres effets du magnétisme. Du reste cette difficulté diminue d'elle-même en prenant tout d'abord deux milieux de perméabilités peu différentes, comme par exemple formés l'un de chlorure de fer et l'autre d'air, ou l'un de bismuth et l'autre d'air. La différence des vitesses relatives du champ dans les deux milieux est alors beaucoup plus faible et

peut être plus facilement saisie par l'esprit.

Au sujet de la remarque de M. Dolivo Dobrowolsky sur la nécessité d'abandonner la théorie des lignes de force M. Baily pense que cela revient à faire un pas en arrière.

Une dernière question est la réduction des courants de Foucault malgré la grande vitesse relative du champ par rapport aux conducteurs. Les courants de Foucault sont dus à la variation du nombre de lignes de force passant à travers la barre elle-même, ou encore à la différence entre le nombre de lignes de force coupées par le front et l'arrière du conducteur. Mais le champ à l'intérieur du trou est faible, cette différence est forcément aussi très faible; comme d'ailleurs le temps pendant lequel la variation de flux passe de son maximum à zéro, reste le même puisqu'il dépend du mouvement de l'armature, il en résulte que la variation pendant l'unité de temps est aussi très faible et par suite qu'il y a très peu de courants parasites induits.

L'action des conducteurs dans les trous peut être comparée à celle des bobines inductrices dans les machines où elles entourent les pôles tout entiers. Les parties de fer dans lesquelles les trous sont pratiqués agissent de la même façon que les pièces de fer en mouvement dans les inducteurs d'une dynamo en recevant et transmettant les réactions mécaniques.

Dans le dernier cas, les bobines sont immobiles, et par suite la direction du mouvement relatif des conducteurs et des lignes de force subit des renversements périodiques produisant un courant alternatif.

Dans le premier au contraire, les bobines se meuvent avec l'inducteur et par suite la direction du mouvement des lignes de force reste toujours la même que celle de la bobine jusqu'à ce que la pièce polaire soit passée. Mais dans les deux cas le cuivre peut être regardé comme étant toujours dans un très faible champ, se déplaçant avec une très grande vitesse et par suite avec un faible effort mécanique.

Comme on le voit et comme le fait du reste remarquer M. H. Du Bois dans une lettre adressée à *The Electrician* [1] les explications du professeur Baily semblent fortement inspirées de celles données par M. Du Bois [2]. Il est bon de remarquer toutefois, et c'est pour cela que nous avons analysé la note de M. Baily, que les explications de ce dernier sont plus simples ou tout au moins mieux présentées, et que l'auteur a cherché à réhabiliter l'expression de lignes de force en ne faisant pas usage comme M. Du Bois des tubes de force pour l'explication des phénomènes en question. J. R.

(1) *The Electrician* du 22 octobre 1897.

(2) *L'Éclairage Électrique* du 16 octobre 1897, p. 136.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 19 novembre 1897.

M. Ducretet présente un *appareil* destiné à répéter les expériences de Hertz sur les ondulations électriques, et analogue, dans quelques-unes de ses parties, à celui que M. Bose présentait il y a quelques mois [1].

L'oscillateur est constitué par trois boules de platine massives, ayant leurs centres en ligne droite; les deux boules extrêmes sont beaucoup plus petites que celles du milieu; le tout est plongé dans de l'huile de vaseline, au milieu de laquelle jaillit l'étincelle. Les oscillations ont, d'après M. Bose, une fré-

(1) Séance du 19 mars 1897. *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 33, 27 mars 1897.

quence de 50 millions par seconde et une longueur d'onde de 6 mm. La bobine est du type des moteurs à gaz; elle est enfermée, comme dans le dispositif de M. Bose, dans une boîte garnie de tôle de fer: une clé de contact sert à fermer une batterie d'accumulateurs sur le circuit inducteur.

Le résonateur est un tube de M. Branly, contenant une limaille métallique noyée dans la résine; ce tube mis en circuit sur une pile et un galvanomètre présente une résistance assez grande pour ne laisser passer qu'un courant insensible en temps ordinaire; cette résistance diminue brusquement quand l'étincelle jaillit à l'excitateur. M. Branly considère comme impropre le nom de *cohéreurs* donné par divers savants à des appareils basés sur le phénomène qu'il a découvert; il appelle ses tubes *radioconducteurs*.

M. Ducretet dit qu'en 1895, M. Popoff, à Saint-Pétersbourg, a employé un tube Branly disposé de façon que le courant qui le traverse à chaque décharge actionne, par l'intermédiaire d'un relais, un marteau de sonnerie, qui vient frapper sur le tube, et lui rendre sa résistance première. Un enregistreur Richard inscrivait chaque fois le passage du courant (1). Dans l'appareil présenté par M. Ducretet, le courant qui passe au moment de la production des ondes est enregistré, par l'intermédiaire d'un relais, dans un appareil Morse pour usages télégraphiques, construit par M. Ducretet, en collaboration avec MM. Maréchal et Rigollot, et qui contient un amortisseur et une résistance additionnelle pour éviter les étincelles de rupture.

C. R.

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Séance du 12 novembre 1897.

La *plate-forme mobile électrique* de MM. Blot, Gugenet et de Montcomble est l'objet d'un rapport de M. Barbet au nom du *Comité des arts mécaniques*.

L'idée de transporter les corps au moyen d'une courroie mobile est déjà ancienne et l'on en connaît de nombreuses applications soit pour le transport des marchandises au moyen de courroies de transmission, soit pour le transport des voyageurs. En particulier ce dernier mode a été utilisé aux Magasins du Louvre pour transporter les visiteurs du rez-de-chaussée au premier étage. Le système comme le savent nos lecteurs (1) est composé d'une toile mobile sans fin, et d'une rampe suivant le mouvement sur laquelle peuvent s'appuyer les visiteurs. Aux points de départ et d'arrivée la toile mobile disparaît tangentiellement au plancher fixe en passant par une fente suffisamment étroite pour éviter les accidents.

La nouvelle plate-forme mobile, à traction électrique est destinée à desservir un circuit fermé. L'application mentionnée dans le mémoire est le transport des voyageurs à l'intérieur de l'enceinte de l'Exposition de Paris en 1900.

Une plate-forme unique nécessiterait soit un arrêt, soit un ralentissement de la marche pour permettre l'embarquement des voyageurs. Pour obvier à cet inconvénient une deuxième plate-forme roule à côté de la première avec une vitesse moitié moindre; les voyageurs passent ainsi du trottoir fixe d'embarquement sur cette plate-forme puis de là sur la plate-forme principale, la différence des vitesses, environ 4 km à l'heure, permet facilement ce transbordement.

Le rendement a été calculé de façon à obtenir un transport de 38 880 voyageurs à l'heure, résultat qu'aucun chemin de fer ne pourrait atteindre. Le rapport du *Comité des arts*

(1) Cette application des ondulations hertziennes à la transmission des signaux à distance montre bien, comme le fait remarquer M. Hess dans l'article publié dans ce numéro, que si M. Marconi a le grand mérite d'avoir réussi à obtenir la transmission de signaux perceptibles à plusieurs kilomètres, il ne peut prétendre avoir apporté quelque élément nouveau soit dans les appareils, soit dans la disposition de ceux-ci.
(N. d. l. R.)

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 604, 19 juin 1897.

mécaniques sera inséré dans le prochain bulletin de la Société d'encouragement.

Les rayons X et leurs applications industrielles en France sont ensuite exposés par M. A. Remond, qui dans une très intéressante conférence a passé en revue les différents procédés classiques qui permettent d'obtenir les rayons de Rœntgen. Il a présenté les dernières améliorations apportées à la production des rayons X. On sait que la constance de l'intensité de la lumière émise par les écrans fluorescents a une importance capitale pour les personnes qui font beaucoup de radiographie, l'œil est en effet rapidement impressionné et cette impression ne disparaît ensuite que lentement. Il en résulte que l'inégalité dans l'éclairement produit des troubles physiologiques et nuit à la netteté des images.

Lorsqu'on emploie les accumulateurs pour produire le courant primaire avec une bobine à trembleur ordinaire la lumière cathodique est très variable, les accumulateurs se déchargent par saccades. La petite bobine Noë, actionnée par une pile, supprime en partie cet inconvénient. Mais un meilleur procédé consiste à munir l'appareil de rhéostats pour régler l'intensité de la lumière cathodique. Les accumulateurs, qui au début sont à 2,1 ou 2,5 volts, baissent au bout de 2 minutes environ à 1,85 volt, valeur qui reste ensuite constante. En mettant dans le circuit primaire un rhéostat on évite ainsi le coup de fouet du début et il suffit de supprimer la résistance 3 minutes après environ.

Le réglage complet s'effectue au moyen d'un interrupteur à mercure actionné indépendamment. Un rhéostat placé sur ce circuit permet de faire varier très notablement le nombre des interruptions et, par suite, de régler l'intensité de l'étincelle qui est liée à ce nombre. Enfin un deuxième rhéostat placé dans le circuit primaire permet de modifier l'intensité du courant. On est donc bien maître de l'éclairement de l'écran fluorescent.

L'utilisation pratique des rayons X a fait un premier pas avec la disposition adoptée, après d'autres, par M. G. Seguy qui lui a donné le nom de lorgnette humaine. Ce dernier appareil, qui permet d'opérer en plein jour, a été utilisé pour en reconnaître les fraudes à la douane. Mais la production des rayons X était encore bien difficile, soit à cause de la masse des accumulateurs nécessaires, soit à cause de leur chargement. La substitution d'une machine statique à la bobine d'induction apporte une amélioration considérable. Une machine ordinaire de Wimshurst mue à la main donne déjà une faible fluorescence; en l'actionnant avec un moteur électrique, on obtient un éclairement comparable à celui que donnent les meilleures bobines.

L'emploi de paliers à billes permettra d'arriver à ce resultat en actionnant simplement avec la main la machine statique (600 t. par minute). Cette nouvelle disposition diminue beaucoup le prix de revient des appareils; en outre, elle est plus pratique, le système est facilement transportable et n'offre aucun danger dans sa manipulation.

Le conférencier a terminé en présentant la nouvelle ampoule de M. G. Seguy à fluorescence rouge [1]. Cette fluorescence s'obtient en changeant la nature du verre de l'ampoule, par exemple par l'introduction d'un sel de didyme. Elle est à peine rose, beaucoup moins visible que la fluorescence verte dans les mêmes conditions. Mais l'éclairement de l'écran est meilleur. G. G.

Sur une interprétation applicable au phénomène de Faraday et au phénomène de Zeeman;

Par Henri Becquerel [2].

« La belle découverte que le Dr Zeeman a publiée à la fin de l'année dernière, et que notre éminent confrère M. Cornu nous a ré-

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 602, 26 octobre 1897. *L'Éclairage Électrique*, t. XIII, p. 281, 6 novembre 1897.

[2] *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 679, séance du 8 novembre 1897.

cemment exposée en nous montrant les perfectionnements et la précision qu'il a apportés à ces expériences, a rappelé l'attention des physiciens sur le phénomène de la polarisation rotatoire magnétique, découvert par Faraday. Les expériences de M. Cornu et de M. Broca ont confirmé la différence essentielle qui existe entre les deux phénomènes. L'effet découvert par le Dr Zeeman consiste en un changement dans la période d'une source lumineuse placée dans un champ magnétique, tandis que pareille modification n'a pu être observée dans le phénomène de Faraday.

» J'ai reconnu autrefois [1], ainsi que M. Righi et M. Cornu, que la polarisation rotatoire magnétique correspondait à une variation dans la vitesse de propagation de la lumière polarisée circulairement. En 1885 [2] j'avais eu l'occasion de chercher quelle serait la vitesse de rotation d'un mouvement tourbillonnaire de l'éther lumineux, auquel on pourrait attribuer les phénomènes observés, et le nombre que j'ai indiqué à cette époque concorde tellement avec celui qu'on peut déduire de l'expérience de Zeeman, que le rapprochement m'a paru digne d'intérêt.

» Examinons donc l'hypothèse qui attribuerait à l'éther, dans un champ magnétique égal à l'unité C. G. S., un mouvement tourbillonnaire de période θ, et cherchons les conséquences de cette hypothèse dans le cas du phénomène de Zeeman et de la polarisation rotatoire magnétique.

» 1° *Phénomène de Zeeman.* — Le Dr Zeeman a observé que si l'on dispose une flamme chargée de vapeur de sodium entre les pieds d'un électro-aimant, et qu'on examine le spectre de cette flamme, chacune des raies D_1 et D_2 se transforme en un triplet quand l'observation est faite perpendiculairement, et en un doublet lorsqu'on regarde la flamme parallèlement aux lignes de force du champ magnétique. Nous ne considérerons que ce dernier cas. Les deux composantes du doublet sont polarisées circulairement en sens contraires. L'expérience prouve encore que le mouvement circulaire dont la période est la plus courte, a le même sens que le courant d'un solénoïde équivalent au champ magnétique.

» Si, à l'exemple d'un grand nombre de physiciens, on assimile un champ magnétique à un espace animé de mouvements tourbillonnaires dont les axes seraient parallèles aux lignes de force, on peut examiner les conséquences de l'hypothèse qui consisterait à admettre que ce mouvement s'ajoute aux mouvements circulaires de l'un des deux faisceaux en lesquels on peut décomposer un faisceau de lumière naturelle, et qu'il se retranche des mouvements de l'autre.

» Soit θ la période du mouvement tourbillonnaire du champ, N le nombre de tours par seconde du mouvement circulaire lumineux en dehors du champ magnétique, le nombre de tours de ce mouvement deviendrait $N' = N + \frac{1}{\theta}$ pour le mouvement circulaire lumineux de même sens que les tourbillons, et $N'' = N - \frac{1}{\theta}$ pour le mouvement inverse. Les longueurs d'onde λ' et λ'' des deux faisceaux circulaires seront différentes, et comme on a, en désignant par V_0 la vitesse de la lumière dans le vide,

$$N\lambda = V_0 \quad \text{et} \quad \frac{dN}{N} + \frac{d\lambda}{\lambda} = 0.$$

on en déduirait

$$-\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{N' - N''}{N} = \frac{2\lambda}{V_0\theta}. \tag{1}$$

» La variation de longueur d'onde $\Delta\lambda$ devrait être proportionnelle au carré de la longueur d'onde.

» Le Dr Zeeman a trouvé, par expérience, $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{40000}$ pour la raie D_1 et un champ magnétique égal à 10^4 (C. G. S.), on dédui-

[1] RIGHI, *Nuovo Cimento*, 1878. — H. BECQUEREL, *Comptes rendus*, t. LXXXVIII, p. 334; 1879. — CORNU, *Ibid.*, t. XCIX, p. 1045; 1884.

[2] *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. VI, p. 171-173; 1885.

rait pour cette valeur du champ magnétique $\frac{1}{\theta_1} = 6{,}36.10^9$. Si l'on fait la nouvelle hypothèse que la rapidité du mouvement tourbillonnaire augmente proportionnellement à l'intensité du champ, on aurait, pour un champ magnétique égal à l'unité C. G. S.,

$$\frac{1}{\theta} = 6{,}36 \times 10^5 \text{ tours par seconde.}$$

» Il est très remarquable de voir que le phénomène de la polarisation rotatoire magnétique va nous conduire à la même valeur numérique.

» 2° *Phénomène de Faraday.* — On peut appliquer à la polarisation rotatoire magnétique la théorie que Fresnel a donnée pour la polarisation rotatoire naturelle, et considérer la rotation du plan de polarisation comme due aux retards différents que subissent au travers d'une substance placée dans un champ magnétique, les deux rayons circulaires inverses dont la superposition est équivalente à une onde polarisée rectilignement.

» Soit ω la rotation du plan de polarisation, e l'épaisseur du corps traversé, V' et V'' les vitesses de propagation des deux rayons circulaires, et T leur période commune ; on sait que l'on a la relation

$$\frac{\omega}{\pi e} = \frac{1}{T}\left(\frac{1}{V'} - \frac{1}{V''}\right) = \frac{n' - n''}{\lambda}. \qquad (2)$$

» La rotation a lieu dans le sens du mouvement du rayon circulaire qui se propage le plus vite.

» Pour rendre compte de la différence des vitesses de propagation des deux rayons circulaires, différence que l'expérience met en évidence, j'avais, dans le travail cité plus haut, proposé une hypothèse qui paraît conforme aux faits observés. Je supposais que, dans un milieu animé d'un mouvement tourbillonnaire, un rayon lumineux circulaire, se propageant suivant la direction commune des axes des tourbillons, se comporterait comme si le milieu était immobile et si le rayon circulaire avait une vitesse de rotation égale, soit à la différence des deux mouvements de rotation, s'ils sont de même sens, soit à leur somme, si le rayon et les tourbillons ont des sens contraires. La période du rayon lumineux devrait rester la même en valeur absolue, mais ce serait sa période apparente, due à sa vitesse de rotation relative par rapport au milieu, qui réglerait dans celui-ci sa vitesse de propagation d'après la loi de la dispersion propre à ce milieu.

» D'après cette hypothèse, une vibration circulaire tournant dans le même sens que le milieu se comportera comme si sa longueur d'onde était augmentée; elle se propagera donc plus vite, et le plan de polarisation d'un faisceau polarisé tournera dans le sens du mouvement tourbillonnaire du champ magnétique. Pour fixer les idées, considérons un champ animé d'un mouvement tourbillonnaire droit : un rayon circulaire droit se propageant suivant l'axe du champ se propagera plus vite que dans le même milieu immobile. La rotation magnétique se ferait à droite. Ce cas correspond à un champ magnétique produit par des courants circulaires droits, et dans ce champ le phénomène de Zeeman révélerait une accélération de la période des vibrations circulaires droites. L'hypothèse sur le sens des tourbillons est donc d'accord avec ce que donne l'expérience sur le sens des deux phénomènes qui nous occupent.

» L'accord numérique n'est pas moins satisfaisant. Soient θ la période du mouvement tourbillonnaire du champ, N le nombre de vibrations par seconde commun à deux rayons polarisés circulairement en sens inverses. D'après notre hypothèse, ces deux rayons se comporteront comme si leur nombre de vibrations était $N' = N - \frac{1}{\theta}$ et $N'' = N + \frac{1}{\theta}$; à ces nombres N' et N'' correspondent des longueurs d'onde λ' et λ'' et des indices n' et n''. La formule de dispersion du milieu considéré donne

$$n' = n + (\lambda'' - \lambda)\left(\frac{dn}{d\lambda}\right), \quad n'' = n + (\lambda'' - \lambda)\left(\frac{dn}{d\lambda}\right).$$

» On a, du reste,

$$\frac{\lambda' - \lambda''}{\lambda} = \frac{N'' - N'}{N} = \frac{2\lambda}{V_0 \theta}$$

et

$$\frac{n' - n''}{\lambda} = \frac{\lambda' - \lambda''}{\lambda} \left(\frac{dn}{d\lambda}\right) = \frac{2}{V_0 \theta} \lambda \left(\frac{dn}{d\lambda}\right).$$

» Substituant cette valeur dans la formule (2), il vient

$$\frac{\omega}{2\pi e} = \frac{1}{V_0 \theta} \lambda \left(\frac{dn}{d\lambda}\right). \qquad (3)$$

» Pour nous rapprocher des conditions de l'expérience de Zeeman, calculons $\frac{\omega}{2\pi e}$ pour l'air. J'ai trouvé autrefois, pour la rotation magnétique $\frac{\omega}{e}$ du sulfure de carbone dans un champ magnétique égal à l'unité C. G. S., le nombre 0',0434 relatif à la raie D, et, d'autre part, j'avais obtenu, pour le pouvoir rotatoire magnétique de l'air, rapporté au sulfure de carbone et à la raie D, le nombre 0,000159. Prenant $V_0 = 3{,}10^{10}$, on a $\frac{\omega}{2\pi e} V_0 = 9{,}586$. Les expériences de M. Mascart sur la dispersion des gaz conduisent, pour l'air, à la valeur $\lambda \frac{dn}{d\lambda} = 1{,}443 \cdot 10^{-5}$ pour la raie D.

» On déduit alors de la formule (3), en y transportant ces valeurs,

$$\frac{1}{\theta} = 6{,}64 \cdot 10^5,$$

nombre très voisin de celui auquel conduit le phénomène de Zeeman.

» La valeur de $\frac{1}{\theta}$ déduite de la formule (3) correspond à la vitesse de rotation qui caractérise le champ magnétique à l'intérieur même des corps transparents, et le champ n'y est pas toujours le même que quand le même espace est occupé par de l'air. Le tableau suivant donne les valeurs de $\frac{1}{\theta}$ pour divers corps dont j'avais étudié les rotations magnétiques, et pour lesquels j'ai pu recueillir les données suffisantes au calcul de $\lambda \frac{dn}{d\lambda}$.

Substances.	Rotations magnétiques.	$\lambda_D \left(\frac{dn}{d\lambda}\right)_D$		$\frac{1}{\theta} \cdot 10^{-5}$
Oxygène	0,000 146	1,47	10^{-5}	5,98
Air	0,000 159	1,44	10^{-5}	6,64
Azote	0,000 161	1,68	10^{-5}	5,74
Acide carbon.	0,000 302	2,00	10^{-5}	9,07
Protoxyde d'az.	0,000 393	4,85	10^{-5}	4,88
Eau	0,308	1,99	10^{-2}	9,33
Benzine	0,636	4,88	10^{-2}	7,85
Trichlorure de phosphore	0,651	4,71	10^{-2}	8,30
Sulfure de carb.	1,000	9,71	10^{-2}	6,20
Phosph. liquide.	3,120	2,52	10^{-1}	7,41
Bichlorure de titane	—0,358	9,96	10^{-2}	—2,16

» Dans les mesures de M. Mascart relatives à la dispersion des gaz, le nombre relatif à l'air n'est pas intermédiaire entre celui de l'oxygène et celui de l'azote. Cette anomalie qui se retrouve dans le tableau ci-dessus, puisque l'on a fait usage de ces nombres pour calculer $\lambda \frac{dn}{d\lambda}$, montre le degré d'approximation avec lequel peuvent être calculées ces valeurs.

» Il importe de remarquer que les valeurs de $\frac{1}{\theta}$ ainsi calculées ne sont comparables que si les rotations magnétiques considérées sont dues à la propagation de la lumière au travers d'un corps bien défini, ou d'un système de corps dont toutes les parties agissent de la même manière. Il peut en être tout autrement pour des dissolutions au travers desquelles la rotation magnétique est la somme ou la différence entre les effets produits par le dissolvant et par le corps dissous. Ainsi j'ai montré qu'une dissolution de perchlorure de fer dans l'eau, de densité 1,155 environ, avait un pouvoir rotatoire positif pour les rayons rouges, nul pour les rayons jaunes, et négatif pour les rayons verts; si l'on appliquait à cette dissolution le calcul précédent on trouverait que, suivant les rayons lumineux étudiés, le mouvement tourbillonnaire intérieur devrait être tantôt droit, tantôt gauche, ce qui n'a évidemment aucun sens.

» L'indépendance entre les effets des divers éléments chimiques traversés peut se manifester même dans les combinaisons; le bi-

chlorure de titane, qui est diamagnétique, doit ses propriétés optiques négatives au magnétisme du titane; les sels de nickel au contraire sont positifs, bien que le nickel soit un métal magnétique. On pourrait citer encore bien d'autres anomalies de cet ordre.

» Ces considérations conduisent à vérifier que, dans les cas où l'hypothèse développée plus haut est applicable, on est conduit à la même valeur de $\frac{1}{\theta}$ pour un même corps quelle que soit la longueur d'onde de la lumière qui ait servi aux observations optiques. En d'autres termes, la formule (3) doit représenter également la dispersion rotatoire magnétique et pour un même corps les rotations magnétiques des plans de polarisation des rayons de diverses longueurs d'onde devraient être proportionnelles aux valeurs de l'expression $\lambda \frac{dn}{d\lambda}$. Je n'ai pas encore pu faire cette vérification pour un très grand nombre de corps, car il est nécessaire de déterminer la dispersion des substances mêmes dont on étudie le pouvoir rotatoire. On trouve, dans un mémoire de M. Joubin [1], des nombres qui se prêtent à cette vérification. Ils sont relatifs au sulfure de carbone et à la créosote, deux liquides pris pour types par Verdet; en mettant en regard les valeurs relatives de la rotation magnétique et du terme $\lambda \frac{dn}{d\lambda}$ on reconnaît que ces deux grandeurs sont à très peu près proportionnelles.

Raies du spectre.	Sulfure de carbone.		Créosote.	
	ω.	$\lambda \frac{dn}{d\lambda}$.	ω.	$\lambda \frac{dn}{d\lambda}$.
C	0,76	0,75	0,75	0,76
D	1,00	1,00	1,00	1,00
E	1,30	1,35	1,31	1,32
F	1,62	1,69	1,62	1,64
G	2,23	2,41	2,26	2,28

» Il résulte de cette comparaison que la formule (3) équivaut aux formules de dispersion proposées par divers savants pour représenter la dispersion rotatoire magnétique, dans le cas des rotations positives. Elle ne s'applique pas aux rotations négatives du bichlorure de titane. Du reste, j'ai déjà appelé l'attention sur la différence profonde des lois qui régissent les rotations positives et les rotations négatives.

» L'hypothèse d'un mouvement tourbillonnaire de l'éther dans un champ magnétique ne paraît donc pas contraire à l'expérience et permet de relier numériquement entre eux des phénomènes qui sont tous deux des manifestations de l'action d'un champ magnétique sur l'éther lumineux. Le phénomène de Faraday se prête à des vérifications multiples, mais de nouvelles déterminations sont nécessaires pour vérifier si, dans le phénomène de Zeeman, la variation de longueur d'onde est, comme l'indique notre hypothèse, proportionnelle au carré de la longueur d'onde et à l'intensité du champ magnétique. »

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XVI, p. 109-113; 1889.

Sur le potentiel de la double couche;

Par A. Liapounoff [1].

» Soit S une surface admettant un plan tangent; considérons l'intégrale

$$W = \int \frac{u \cos \varphi \, ds}{r^2}$$

qui représente, avec les notations très connues, ce que l'on appelle *potentiel d'une double couche*.

» On admet généralement que, les points P et P′ se rapprochant indéfiniment du point M, on a

$$\lim \left(\frac{\partial W}{\partial n}\right)_P = \lim \left(\frac{\partial W}{\partial n}\right)_{P'}.$$

» Mais on n'a jamais donné de cette propriété de démonstration suffisante.

» Voici les résultats auxquels je suis arrivé :

[1] *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 694, séance du 8 novembre 1897.

» THÉORÈME I. — *La fonction* μ *étant une fonction continue quelconque, supposons que, au point* M_0, *les sections normales de la surface ont toutes des courbures finies et déterminées. Alors, si les points* P *et* P' *tendent vers* M_0 *de manière qu'on ait toujours*

$$PM_0 = M_0P',$$

on aura

$$\lim \left[\left(\frac{\partial W}{\partial n}\right)_P - \left(\frac{\partial W}{\partial n}\right)_{P'}\right] = 0.$$

» THÉORÈME II. — *La condition précédente relative au point* M_0 *étant remplie, prenons ce point pour pôle des coordonnées polaires, le rayon vecteur* ρ *et l'angle polaire* θ, *dans le plan tangent à la surface, et posons*

$$\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \mu d\theta = \bar{\mu}.$$

Alors, toutes les fois que l'on pourra trouver un nombre positif α, *tel qu'on ait*

$$\lim_{\rho = 0} \left(\frac{\bar{\mu} - \mu_0}{\rho^{1+\alpha}}\right) = 0,$$

μ_0 *étant la valeur de* μ *au point* M_0, *on aura des limites déterminées pour*

$$\left(\frac{\partial W}{\partial n}\right)_P, \left(\frac{\partial W}{\partial n}\right)_{P'}$$

et ces limites seront égales.

» En me bornant ici seulement à ces énoncés, j'exposerai mon analyse, si l'Académie me permet, dans une autre communication.

» Pour démontrer le théorème I, je prends M_0 pour origine et la normale pour axe des z, et je pose

$$W = W_0 + W_1,$$

W_0 et W_1 étant les potentiels dus aux parties de la surface dont la distance à l'axe des z est respectivement plus petite ou plus grande que R.

» Je pose

$$W'(z) = \frac{dW}{dz},$$

et j'arrive à la formule suivante

$$W'_0(z) - W'_0(-z) = -\frac{6\pi\mu_0\varpi_0 R^4 z}{(R^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}} + F(z, R),$$

et, par suite, en passant au potentiel W (z) de la surface entière,

$$W'(z) - W'(-z) = F(z, R) + W'_1(z) - W'_1(-z) - \frac{6\pi\mu_0\varpi_0 R^4 z}{(R^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}},$$

F (z, R) étant une fonction qu'on pourra faire, en attribuant à R une valeur suffisamment petite ou indépendante de z, aussi voisine de zéro qu'on voudra, et cela pour toutes les valeurs de z. La formule obtenue fait donc voir que l'on a

$$\lim_{z = 0} [W'(z) - W'(-z)] = 0,$$

et c'est bien le théorème I.

» Supposons maintenant que les conditions du second théorème se trouvent remplies, on pourra écrire

$$W'_0(z) = -\frac{2\pi\mu_0 R^2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{3\pi\mu_0\varpi_0 R^4 z}{(R^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}} + \Phi(z, R),$$

en désignant par Φ (z, R) une fonction de la même espèce que la fonction F (z, R) considérée tout à l'heure.

» Or, on s'assure facilement que l'expression $W'_1(0) - \frac{2\pi\mu_0}{R}$ tend, pour $R = 0$, vers une limite déterminée. Donc, en désignant cette limite par L et en remarquant qu'en vertu de l'expression de $W_0(z)$ on a

$$W'(z) - L = \Phi(z, R) + W'_1(0) - \frac{2\pi\mu_0}{R} - L + W'_1(z) - W'_1(0) + 2\pi\mu_0\left[\frac{1}{R} - \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}\right] - \frac{3\pi\mu_0\varpi_0 R^4 z}{(R^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}},$$

on arrive à la conclusion que

$$\lim_{z = 0} W'(z) = L,$$

et c'est le théorème II. »

De la variation de l'énergie dans les transformations isothermes. — De l'énergie électrique ;

Par H. PELLAT [1].

« Dans l'évaluation de la variation d'énergie d'un système, on néglige souvent, en dehors de l'étude de la thermodynamique proprement dite, de préciser la nature exacte de la transformation. Dans bien des cas le phénomène est supposé assez lent pour que la température du système reste sensiblement égale à la température constante du milieu ambiant. Mais tout en supposant la transformation isotherme, on la suppose aussi adiabatique, car on ne tient compte que du travail des forces extérieures, en négligeant les quantités de chaleur que le système doit prendre ou céder au milieu ambiant pour maintenir sa température constante. C'est là une faute, car il est rare qu'une transformation soit réellement à la fois adiabatique et isotherme.

» Considérons en effet un système, siège d'une transformation réversible, qui ne reçoit du milieu extérieur que de la chaleur et du travail. Soient T sa température thermodynamique et x une autre variable dont dépend son état. Dans une transformation élémentaire, la quantité de chaleur dQ et le travail dW mis en jeu peuvent être représentés par

$$dQ = a dT + b dx, \quad dW = h dT + k dx; \tag{1}$$

les différentielles dU et dS de l'énergie et de l'entropie s'expriment alors par

$$dU = J dQ - dW = (Ja - h)\, dT + (Jb - k)\, dx. \tag{2}$$

$$dS = \frac{dQ}{T} = \frac{a}{T}\, dT + \frac{b}{T}\, dx. \tag{3}$$

» En écrivant à la façon ordinaire que dU et dS sont des différentielles exactes, on obtient deux relations qui par élimination donnent

$$b = \frac{T}{J}\left(\frac{\partial k}{\partial T} - \frac{\partial h}{\partial x}\right), \tag{4}$$

formule qui renferme, comme cas particuliers, les formules bien connues de Clapeyron, et qu'on pourrait appeler la *formule de Clapeyron généralisée*. Elle montre que, sauf le cas où la différentielle du travail dW est une différentielle exacte, cas exceptionnel, b est différent de zéro, et par conséquent qu'il faut retirer ou fournir de la chaleur ($b dx$) au système pour maintenir sa température constante quand x varie. On voit, enfin, que la variation d'énergie à température constante dU_T est donnée par

$$dU_T = (Jb - k)\, dx = \left[T\left(\frac{\partial k}{\partial T} - \frac{\partial h}{\partial x}\right) - k\right] dx. \tag{5}$$

et non par $-k dx$, comme on l'admet souvent en négligeant b.

» Pour donner un exemple de l'erreur commise, je vais faire application de ces relations au cas d'un condensateur formé par un diélectrique solide dont les faces opposées sont métallisées pour constituer les armatures.

» Désignons par M la valeur absolue de la charge de chaque armature, par V leur différence de potentiel et par C la capacité. Si, à l'aide d'un replenisher infiniment petit et convenablement disposé, on fait infiniment lentement passer une quantité d'électricité $+dM$ sur l'armature positive et $-dM$ sur l'autre, le travail $-dW$ de la force extérieure nécessaire pour vaincre les forces électriques est, comme on le sait, donné par

$$-dW = V dM = \frac{M}{C} dM. \tag{6}$$

Mais pour maintenir constante la température malgré cet accroissement de charge dM, il se peut qu'il faille fournir ou retirer une certaine quantité de chaleur qu'on peut représenter par $b\, dM$ [1].

[1] *Compte rendu*, t. CXXV, p. 699, séance du 8 novembre 1897.

[1] Cette note était écrite quand j'ai reconnu que M. Vaschy, dans son *Traité d'Électricité et de Magnétisme* (t. I, p. 127) avait déjà donné l'expression de la quantité de la chaleur qu'un condensateur doit prendre au milieu ambiant pour maintenir sa température constante pendant la charge. Cette formule est bien conforme à ce que donne la relation générale (4).

» Supposons qu'ensuite on fasse varier de dT la température du condensateur à charge constante, il faudra fournir une certaine quantité de chaleur $a\,dT$, et les forces extérieures, malgré la dilatation, n'accompliront aucun travail (ce sont des forces *intérieures* qui contrebalancent l'attraction électrique des armatures).

» Dans l'ensemble de ces deux transformations élémentaires réversibles, la quantité totale de chaleur mise en jeu est donc

$$dQ = a dT + b dM, \qquad (7)$$

tandis que le travail est représenté par la relation (6). En comparant (6) et (7) à (1), on voit qu'on a ici

$$x = M, \quad h = 0, \quad k = -\frac{M}{C};$$

d'où, d'après (5),

$$dU_T = \left(T \frac{M}{C^2} \frac{dC}{dT} + \frac{M}{C}\right) dM$$

$$= \frac{1}{C} \left(1 + \frac{T}{C} \frac{dC}{dT}\right) M dM. \qquad (8)$$

Ce qui donne, pour la variation finie d'énergie ΔU_T à température constante T quand la charge varie de 0 à M (en supposant C indépendant de M)

$$\Delta U_T = \frac{1}{C}\left(1 + \frac{T}{C} \frac{dC}{dT}\right) \frac{M^2}{2}$$

$$= \frac{1}{2} MV \left(1 + \frac{T}{C} \frac{dC}{dT}\right) \qquad (9)$$

et non $\frac{1}{2}$MV, comme on l'admet habituellement, car C dépend toujours de la température, tant à cause de la dilatation, qui écarte et agrandit les armatures, qu'à cause de la variation du pouvoir inducteur spécifique.

» Pour un condensateur dont la paraffine est le diélectrique, en ne tenant compte que de la dilatation, on trouve que la variation d'énergie serait $\frac{1}{2} MV \times 1{,}08$. L'erreur commise est donc probablement voisine de $\frac{1}{10}$.

» Dans la décharge du condensateur, l'énergie calorifique créée est égale à $\frac{1}{2} MV + \frac{1}{2} \frac{C}{T} \frac{dC}{dT}$. Il est vraisemblable que le premier terme $\left(\frac{1}{2} MV\right)$ représente l'énergie calorifique créée dans le circuit réunissant les armatures, comme on l'a toujours admis, et que le terme $\frac{1}{2} MV \frac{T}{C} \frac{dC}{dT}$ représente l'énergie calorifique créée dans le diélectrique.

» Un raisonnement semblable au précédent montre que, si une enceinte conductrice renferme différents conducteurs présentant sur l'enceinte des excès de potentiel V et des charges M, le tout formant un système rigide, l'augmentation d'énergie à température constante T pendant la charge est donnée par

$$\Delta U_T = \frac{1}{2} \Sigma MV - \frac{T}{2} \frac{\partial(\Sigma MV)}{\partial T},$$

les charges données M étant indépendantes de la température, mais les excès de potentiel V en dépendant généralement.

» L'expression erronée de la variation d'énergie, quand on néglige la quantité de chaleur mise en jeu, représente le travail des forces extérieures. Or, si la transformation est isotherme, la différentielle de ce travail est une différentielle exacte ; en croyant écrire que la différentielle de l'énergie est exacte, on écrit en réalité que la différentielle du travail est exacte; mais il n'y a aucune erreur si l'on considère une transformation isotherme; on précise implicitement ainsi la nature de la transformation Il en résulte que, sauf en ce qui concerne l'évaluation de l'énergie, toutes les conséquences de ces raisonnements sont justes, en général. Tel est le cas, par exemple, des formules données pour la contraction électrique des gaz, pour la déformation d'un condensateur, pour l'extension de la surface libre d'un liquide, etc. »

BIBLIOGRAPHIE

L'appareil Hughes unipole, par J. Piérart. — Une brochure de 17 pages; extrait du *Bulletin de la Société belge d'Electriciens.*

On sait que dans l'appareil Hughes le contrôle de la transmission est obtenu en intercalant dans le circuit de ligne à la fois l'électro-imprimeur du poste d'arrivée et celui du poste de départ. Les deux appareils fonctionnent par conséquent en série et le même courant imprime simultanément dans les deux postes le signal échangé. Lorsque le poste transmetteur devient récepteur, il faut, pour que le courant de réception traverse l'électro dans le même sens que précédemment le courant de transmission, changer le pôle de la pile en relation avec la ligne; c'est-à-dire que la polarité de la ligne par rapport à la terre change avec le sens de la transmission des dépêches.

M. J. Piérart, ingénieur des télégraphes belges, voit dans ce changement de polarité un inconvénient suffisant pour motiver un mode de montage nouveau des principaux organes du Hughes, qui permette l'emploi d'un même pôle de pile à chaque extrémité de la ligne, d'où le nom donné à l'appareil modifié. En gros, la modification consiste à monter les deux appareils transmetteur et récepteur en dérivation par rapport à la pile; nous aurons l'occasion de revenir sur les détails que décrit la brochure, mais on peut remarquer *a priori* que le montage en dérivation est moins apte à assurer la simultanéité de fonctionnement des appareils reliés, la dissymétrie des circuits pouvant introduire des retards variés. L'auteur a pu vérifier ce fait sur une ligne munie d'électros à grande self-induction du système Van-Rysselberghe, dont il a fallu diminuer la self-induction pour permettre le bon fonctionnement du système.

Les avantages que procure le montage de M. Piérart sont de diminuer la résistance, et par suite la force électromotrice nécessaire au travail, et de pouvoir supprimer une des piles, puisqu'on n'inverse plus la polarité. Quant à l'avantage que donnerait le pôle positif de s'opposer à la destruction des fils de ligne par l'usure électrolytique, l'auteur se l'exagère peut-être, car s'il est vrai que les inversions successives des courants de fuite peuvent avoir pour effets de faire détacher du fil des parcelles métalliques provenant de la réduction de l'oxyde, il faut convenir, vu les très faibles quantités d'électricité en jeu, que cette cause de détérioration ne peut agir qu'excessivement lentement.

Quoi qu'il en soit, la modification étudiée par M. Piérart et que l'Administration belge applique sur quelques lignes est intéressante, elle n'implique d'ailleurs que des changements peu importants dans les parties mécaniques du Hughes normal.

A. Hess.

Leçons sur les principes de la mécanique (Première partie), par le Dr Ludwig Boltzmann. — Un volume in-8°. *A. Barth*, éditeur, Leipzig.

Le Dr Boltzmann a fait paraitre en 1895 la première partie d'un volume intitulé : *Leçons sur la théorie des gaz*. Cette première partie contient la théorie des gaz monoatomiques: dans la deuxième qui doit paraître prochainement, seront traités : la théorie de Van der Waals, les gaz polyatomiques et la dissociation. Comme ceci nécessite de continuelles incursions sur le domaine de la mécanique, produisant ainsi des coupures dans l'ouvrage, l'auteur a jugé bon de faire à part un livre de mécanique; cette publication récente précède donc celle de la deuxième partie de la *Théorie des gaz*.

Trouvant trop compliquées les méthodes que l'on a proposées dans ces derniers temps pour dissiper l'obscurité des principes de la mécanique, le Dr Boltzmann prend une voie radicalement opposée et revient à la vieille forme classique pour l'exposé des principes. Il regrette d'ailleurs de ne pouvoir donner plus de précision encore à certaines parties de la mécanique, à cause du cadre même de l'ouvrage.

Le premier chapitre réunit les notions fondamentales : continuité du mouvement, vitesse, accélération, masse, force, égalité de l'action et de la réaction, parallélogramme des forces, introduction des vecteurs.

L'étude du mouvement d'un point matériel et des forces centrales fait l'objet du second chapitre.

Dans le troisième, on trouve les intégrales générales des équations du mouvement, le principe de l'énergie.

Le principe des déplacements virtuels occupe le quatrième chapitre avec le mouvement du pendule et la méthode des multiplicateurs.

Les applications des principes précédents aux corps solides viennent ensuite : translation, rotation, mouvement le plus général, couples, réduction des forces appliquées à un corps solide ; inertie, ellipsoïde d'inertie.

Enfin, la première partie se termine par la comparaison des différents principes : principe de la moindre action, principe des déplacements virtuels, principe de d'Alembert.

La deuxième partie des *Leçons sur la mécanique* traitera des principes importants de la théorie des gaz. Puis paraîtra le second volume des *Leçons sur la théorie des gaz*, et enfin une troisième partie de mécanique contenant l'étude de l'élasticité et de l'hydrodynamique. J. REYVAL.

CHRONIQUE

L'utilisation des chutes d'eau. — D'après la *Vigie algérienne*, nos houillères en exploitation ne donnent que 28 millions de tonnes de houille, et nous en consommons 38 millions et demi. Nous payons de ce chef à l'étranger un tribut annuel de plus de 150 millions de fr.

La puissance totale des chutes d'eau qu'il serait possible d'aménager pratiquement en France a été évaluée à 10 millions de chevaux, soit à peu près autant que la puissance motrice des machines à vapeur existantes du monde entier. Mais jusqu'à présent le dixième à peine de cette puissance hydraulique est utilisé.

Les expériences de Marcel Desprez avaient, de 1883 à 1885, montré la possibilité de transmettre par l'électricité l'énergie destinée aux usages mécaniques, à des distances de plus de 50 km, avec un rendement de 50 p. 100. Depuis, la science a fait de nouveaux progrès. On a transmis, à Francfort, une puissance de 300 chevaux prise sur une chute du Neckar, à Lauffen, à une distance de 175 km, avec un rendement de 72 p. 100, et cela au moyen d'une ligne aérienne formée de trois fils de cuivre de 4 mm de diamètre.

Aussi l'industrie est-elle entrée largement aujourd'hui dans la voie des applications pratiques. Les chutes du Niagara envoient 10000 chevaux de puissance aux industries de la ville de Buffalo, située à 35 km de distance. Les usines d'Ogden (États-Unis) envoient 3000 chevaux à Salt-Lake City, qui est à 58 km, et on se prépare à prolonger la transmission jusqu'à des districts miniers situés à 100 km.

A Gênes, l'eau captée dans la montagne, à 30 km de distance, donne 2000 chevaux dont l'énergie est distribuée dans un réseau dont le développement atteint 50 km.

La Suisse entière est sillonnée de réseaux de distribution d'énergie par l'électricité qui permettent à son industrie d'utiliser les immenses ressources d'énergie contenues dans les chutes d'eau des Alpes et de lutter avantageusement sur le marché du monde avec les pays les plus riches en houille.

En France, les applications sont plus timides en général. Cependant, à côté d'un certain nombre d'entreprises moins importantes, la Compagnie électrique de la Loire distribue 900 chevaux à plus de 38 villages des environs de Saint-Etienne au moyen d'un réseau dont le développement atteint 100 km, pour actionner les métiers à tisser installés dans le domicile même des ouvriers tisserands habitant la campagne. A Lyon, une distribution d'énergie électrique de 12000 chevaux produite par une chute d'eau dérivée du Rhône, va fonctionner prochainement.

Les applications de l'énergie électrique sont déjà nombreuses et il importe d'en faciliter l'extension.

La vitesse des tramways électriques. — Nous extrayons ce qui suit d'un article de M. Bollée :

Les récents accidents arrivés au Mans doivent conduire l'administration à une réglementation nouvelle de la marche des tramways.

Je laisse de côté tout ce qu'il peut y avoir de dangereux dans la rupture des fils et le fait de passer à toute vitesse, tellement près des trottoirs, que les personnes marchant sur la bordure peuvent être heurtées ou accrochées.

Je veux seulement prouver que, comprise comme elle l'est actuellement, la circulation de ces masses pesant de 8 à 10 tonnes, lancées généralement de 30 à 40 km à l'heure, parfois 50 km, comme je l'ai contrôlé, présente un danger réel.

Plus une masse est lourde et plus elle marche vite, plus ses freins doivent être puissants. Les machines sur rails, qui ne peuvent passer à volonté à droite ou à gauche de l'obstacle, doivent plus que tout autre véhicule s'arrêter instantanément.

L'adhérence sur les rails mouillés ou gras devient souvent de 10 p. 100 seulement, c'est-à-dire qu'un poids de 100 kg posé sur des rails, glissera si on fait sur lui une traction horizontale de 10 kg seulement, ou s'il est posé sur une pente de 10 cm par mètre.

Dans ces conditions, une voiture électrique qui serait, les jours où l'adhérence est faible, sur une pente de 10 p. 100, aurait beau enrayer complètement ses roues, qu'elle continuerait encore à descendre avec une vitesse croissante sans qu'il y ait un seul moyen de l'arrêter.

Lorsque l'adhérence est de 10 p. 100, il faut, à une voiture électrique lancée à 36 km à l'heure, ce qui a lieu tous les jours, 50 *m pour s'arrêter, les freins étant serrés jusqu'à enrayer les roues.*

Cette distance peut même être portée jusqu'à 85 m par temps de verglas. Au contraire, par temps sec, 20 à 25 m suffisent.

Je sais, que par des artifices, en versant du sable sur les rails, on peut corriger un peu ce manque d'adhérence, mais les voyageurs, les piétons et les voitures sont à la merci du fonctionnement d'une sablière ou de l'exactitude au travail de l'employé chargé de ce service.

Il est donc bien établi que le manque d'adhérence des tramways sur rails, sans distinction de système, empêche d'arrêter vite.

L'impossibilité d'arrêter vite par temps humide doit, par conséquent, créer à la Compagnie des tramways le devoir de marcher beaucoup plus lentement, par exemple à la moitié de sa vitesse, ce qui diminuerait des trois quarts la distance nécessaire pour arrêter, cette distance étant proportionnelle au carré de la vitesse. Elle doit régler sa marche de façon à aller plus vite en montant qu'en descendant, plus vite les jours secs que les jours humides, puisqu'elle peut, dans ces conditions, arrêter plus promptement. Elle doit, en un mot, marcher de telle façon qu'elle puisse toujours arrêter sur la même distance.

Il faudrait aussi, comme au Havre, comme en Angleterre, des filets qui reçoivent à l'avant les piétons au lieu de les écraser.

Question de rupture du fil à part, le tramway électrique n'est pas plus dangereux qu'un autre système. Le mal est celui que je viens de signaler en même temps que le seul remède possible.

La traction électrique par accumulateurs. — M. le Dr E. Lieg a fait dernièrement à l'Elecktrotechnische Gesellschaft de Cologne une communication des plus instructives sur les résultats de l'exploitation d'une ligne de tramways par accumulateurs. Il s'agit, nous dit le *Bulletin de la Traction mécanique* qui a fait l'analyse de cette communication, d'une ligne en circuit fermé ayant 335,50 m de longueur dont 181,5 m en courbe de 50, 30, 25 et 15 m, et 154 m en alignement avec une rampe de 2 p. 100 sur 54,7 m et une autre très courte de 4 à 5 p. 100.

La voiture à accumulateurs, pouvant transporter 38 personnes, pèse à vide 6,5 tonnes et porte 84 éléments aménagés dans des caisses en plomb, pesant 2,9 tonnes. Le poids total de la voiture, à vide, est donc de 9 400 kgr. Le mouvement est donné par deux moteurs de 8 chevaux, pouvant être couplés en parallèle pour la marche normale, en série pour la marche arrière et le freinage.

Les tableaux suivants donnent la moyenne des résultats d'expériences nombreuses faites sur cette voiture à vide et chargée.

1° Voiture vide, 9,4 tonnes :

	Dépense d'énergie par km.	Vitesse moyenne à l'heure.	Durée d'une charge.
Marche continue en palier . . .	240 w.-h.	18 km.	80 km.
Marche continue sur la rampe de 2 p. 100 . .	716 »	14 »	80 »
Marche interrompue trois fois par kilomètre et attaque de la rampe	310 »	12,6 »	60 »

2° Voiture chargée, 11,9 tonnes :

Marche continue	340 »	12,6 »	60 »
Marche discontinue comme précédemment	550 »	11 »	48 »

Le chargement de la batterie au moyen des dynamos exigeait :

	Pour la voiture vide.	Pour la voiture en charge.
En marche continue.	380 w.-h. par km.	»
En marche interrompue . .	500 »	680 w.-h. par km.

La tension moyenne du courant étant de 162 volts l'intensité variait entre 26 et 30 ampères en paliers, entre 50 et 60 sur rampes. L'attaque de la rampe et de la courbe de 15 m avec la voiture chargée exigeait un effort quadruple et même quintuple.

Il est à remarquer, observe le *Schweizerische Bauzeitung*, que ces chiffres sont plutôt trop élevés, ce qui s'explique par les nombreuses défectuosités de l'installation ; pour n'en citer qu'une, il est clair que par la substitution de caisses en ébonite à celles en plomb comme logement des éléments, on aurait pu diminuer de plus d'une tonne le poids du véhicule.

L'auteur examine alors la dépense comparative d'une ligne exploitée par voitures à accumulateurs et d'une ligne à conducteur aérien. Il fait remarquer que dans ce dernier cas la station centrale doit pouvoir fournir une puissance double afin de faire face aux variations de dépense d'énergie qui peuvent atteindre 100 p. 100, d'où des frais d'installation plus élevés. En outre, la machine travaille dans des conditions défavorables. Par contre, les voitures à accumulateurs pèsent une fois et demie plus que les voitures ordinaires et exigent par conséquent une fois et demie plus d'énergie ; si, d'autre part on admet que le rendement des accumulateurs est de 75 p. 100, on voit que la voiture à accumulateurs exige une dépense d'énergie double de celle de la voiture à trôlet.

Mais l'expérience a montré que, dans les machines fonctionnant uniquement pour la charge des accumulateurs, 1 kg de charbon peut produire 600 à 650 watts-heures, alors que dans une station centrale alimentant un conducteur aérien, sans interposition d'une batterie d'accumulateurs, le même kilogramme de charbon ne produit guère que 425 watts-heures utiles. D'autre part, on dépense avec les voitures à trôlet, en moyenne 420 watts-heures par voiture-kilomètre, dont 250 seulement sont utilisés effectixement pour la traction, le reste étant absorbé par la résistance de la ligne et la terre. Or nous avons vu tout à l'heure que, dans la traction par accumulateurs, il ne fallait pas, même dans des conditions très défavorables, plus de 680 watts-heures par kilomètre pour le chargement de la batterie. On voit donc qu'en réalité la voiture à accumulateurs peut aisément dépenser une fois et demie plus d'énergie que la voiture à trôlet sans entrainer à une plus grande dépense de charbon à la station centrale. Ce fait a d'ailleurs été démontré expérimentalement sur les tramways de Hanovre qui, à l'époque où la traction se faisait uniquement par fil aérien, dépensaient en moyenne 438 watts-heures par voiture-kilomètre. Plus tard, une partie des voitures furent munies d'accumulateurs chargés par le fil aérien. La dépense d'énergie, dans ces conditions, s'éleva à 600 watts-heures par voiture-kilomètre, chiffre qui, soit dit en passant, est sensiblement inférieur à celui indiqué plus haut. L'augmentation de dépense dans ces conditions pour les voitures mixtes ne dépassa pas 2,5 centimes par voiture-kilomètre, résultat qui serait certainement meilleur encore si la traction était effectuée uniquement par le système des accumulateurs. Il est bon d'ailleurs de remarquer que la dépense de combustible ne représente qu'une fraction assez faible des frais généraux d'exploitation. Ainsi à Hanovre on a évalué que ces frais s'élèvent pour une période de 8 mois à 21,9 centimes par voiture-kilomètre, non compris l'intérêt et l'amortissement du capital, dans lesquels la dépense de charbon ne figure que pour 1,6 centime.

En ce qui concerne les dépenses d'acquisition et d'entretien, nous ne possédons pas encore de données bien précises ; on peut néanmoins se baser sur les chiffres suivants pour établir une comparaison entre les deux systèmes :

D'après le calendrier de l'électro-technicien d'Upperborn, on évalue les frais d'installation d'une ligne aérienne pour une seule voie à 18 750 fr, pour deux voies à 27 500 fr. Une batterie d'accumulateurs coûte 6 250 fr. On peut donc, avec un même capital, avoir cinq batteries d'accumulateurs pour le prix de 1 km de fil aérien par voie simple, et sept pour le prix de 1 km de fil pour voie double.

En ce qui concerne l'entretien et l'amortissement on compte :

Pour une voie simple à conducteur aérien :

Entretien par km.	5 p. 100 de fr.	18 500	
Intérêts . . .	5 » »	18 500	
Amortissemt.	5 » »	18 500	
Soit au total.	15 » »	18 500	= 2 437,50 fr

Pour une voie double à conducteur aérien :

15 p. 100 de 27500 fr = 3575 fr.

Pour les accumulateurs :

Entretien par voiture-km. au maximum.	3750 fr
Intérêts 3 p. 100 et amortissement 3 p. 100 du capital 1250 fr	300 »
Total	1550 fr.

D'après cela, on voit qu'à dépenses d'entretien et d'amortissement égales on peut, pour 1 km de voie aérienne simple, mettre en service $\frac{2437,50}{1550}$ = 1,6 voiture à accumulateurs ou 0,8 voiture dans chaque sens, pour 1 km de voie aérienne double $\frac{3575}{1550}$ = 2,3 voitures à accumulateurs ou 1,15 voiture dans chaque sens.

Si on admet une vitesse de marche de 12 km à l'heure, on pourra, à frais d'entretien et d'amortissement égaux, faire des départs de voitures à accumulateurs toutes les 6 minutes et demie dans le premier cas, et toutes les 4 minutes et demie dans le second. Si les recettes augmentent, on peut diminuer ces intervalles sans s'exposer à des frais plus considérables.

En résumé, la traction par accumulateurs est d'autant plus économique que les départs sont moins nombreux et les arrêts en cours de route moins fréquents. Elle est à rejeter sur les lignes ayant des rampes d'une certaine longueur et de plus de 2 à 3 p. 100 d'inclinaison.

L'éclairage électrique à Paris, rapport de M. Bos. — Nous avons, déjà (*Supplément*, t. XIII, p. xxv) résumé la partie du rapport de M. Ch. Bos sur les canalisations électriques à établir dans Paris. Nous analyserons aujourd'hui ses conclusions relatives à la situation actuelle de l'éclairage électrique public et privé à Paris, et à la comparaison des différents prix de vente de l'énergie :

Il y a actuellement en service à Paris 652 900 lampes à incandescence, se répartissant ainsi :

	Lampes.
La Société Edison alimente	70000
La Société d'éclairage et force	60000
Le secteur de la place Clichy	85000
La Société de l'air comprimé	55000
Le secteur des Champs-Elysées	80000
Le secteur de la rive gauche	10000
Le secteur municipal	6000

A ces 366 000 lampes, il convient d'ajouter 286 900 lampes alimentées par des installations particulières :

	Lampes.
Hôtel de Ville	5400
Bercy	900
Abattoirs	600
Gares	13000
Théâtres	7000
Magasins	8000
Grands hôtels	12000
Divers	240000

Les sociétés demandent que leur autorisation soit prolongée jusqu'en 1931.

M. Bos examine ensuite, après une étude très documentée sur l'électricité et ses applications, sur son prix de vente à Paris, en France et à l'étranger, à quelles conditions cette autorisation pourrait être renouvelée.

Voici ce prix moyen par hectowatt-heure à Paris en 1897 :

	Pour éclairage en francs.
Usine municipale d'électricité des halles centrales	0,102
Compagnie continentale Edison	0,1073
Société d'éclairage et de force par l'électricité	0,1042
Compagnie parisienne de l'air comprimé	0,1135
Secteur de la place Clichy	0,1118
Compagnie du secteur des Champs-Elysées	0,1269
Secteur de la rive gauche	0,0966

En province, ce prix varie de 0,07, à 0,15 fr.

En Angleterre, il est de 0,0525, 0,0735, 0,063, 0,0367 fr, etc., etc.

En Allemagne, il est de 0,086, 0,076, 0,101, 0,074, 0,084 fr, etc.

En Russie, il est de 0,20 fr; en Autriche-Hongrie, de 0,111 fr; en Suède, de 0,081 fr; en Belgique, de 0,070.

C'est aux conditions suivantes que M. Ch. Bos admet la prolongation :

1° Le prix de l'énergie électrique pour l'éclairage devrait être abaissé à un taux sensiblement égal à celui du gaz, plutôt inférieur, étant bien entendu que ce prix ne serait qu'un maximum rarement atteint, de facon que l'éclairage électrique ne revînt guère plus cher que l'éclairage par le gaz au moyen des becs Auer ;

2° Le prix de l'énergie électrique pour distribution de force motrice devrait être également diminué au point que les intéressés eussent un avantage à la substitution à la vapeur, au gaz, au pétrole ou à l'air comprimé ;

3° En raison des progrès continuels de l'automobilisme, les sociétés devraient installer, à première réquisition de la Ville, des kiosques ou postes de listribution d'énergie électrique en chaque endroit où se trouve par exemple en ce moment une station de voitures de place ;

4° La transformation des courants devrait toujours être à la charge des sociétés et non des abonnés ;

5° Les frais d'installation des branchements et des colonnes montantes appartenant aux sociétés ne devraient pas être avancés par l'abonné, mais devraient être utilisés par lui moyennant un tarif de location accessible à tous ;

6° Les conditions du travail pour les employés et ouvriers devraient être celles que le conseil municipal a déterminées (rapport Weber) pour le personnel des sociétés avec lesquelles il aura à traiter ;

7° L'éclairage électrique des bâtiments municipaux de devrait coûter que la moitié du prix imposé aux particuliers ;

8° La liberté de la Ville dans l'avenir devrait être sauvegardée intégralement, et la clause de rachat à son profit nettement indiquée et stipulée ;

9° Les société devraient s'engager, d'une façon absolue, à respecter dorénavant la réserve munipale ;

10° Enfin, et là-dessus j'attire plus particulièrement l'attention de mes collègues, il ne serait pas possible que les secteurs pussent espérer que le Conseil leur accorderait une prolongation s'ils ne fournissent à bref délai un programme de travaux comportant, d'une façon obligatoire et échelonnés par année :

1° Ce qu'ils comptent faire en vue de l'Exposition de 1900 pour développer l'utilisation de l'énergie électrique ;

2° Les rues qu'ils auraient le projet de canaliser dans les quartiers excentriques surtout (il n'est pas admissible que les secteurs négligent plus longtemps ces quartiers si peuplés) ;

3° Le montant des capitaux qu'ils ont l'intention d'engager dans ces nouvelles entreprises.

Enfin, M. Bos demande que la Ville puisse exiger le transfert des usines à l'extérieur de Paris.

Sur quelques applications de l'ozone. — Dans son numéro du 5 novembre, notre confrère *The Electrical Review*, de Londres, nous fournit quelques indications sur ces applications à propos d'une visite récente à l'usine du Commercial Ozone Syndicate, Limited, usine capable de produire de 72 à 80 mètres cubes d'air ozonisé (le titre en ozone n'est pas indiqué par notre confrère) par heure.

Cet air ozonisé est obtenu au moyen d'ozoniseurs Yarnod alimentés par un courant à 12 000 volts que fournissent des transformateurs à huile, eux-mêmes alimentés par un courant alternatif à 100 volts. La dépense afférente à la génération de l'énergie électrique est estimée à 0,40 fr le kilowatt-heure ; dans ces conditions, on peut obtenir 1 000 mètres cube d'air ozonisé pour la minime dépense de 1,50 fr.

De nombreuses expériences ont été faites pour reconnaitre si les propriétés microbicides de l'ozone pouvaient être utilisées à la désinfection des fûts à bière mis hors d'usage par la moisissure ; il a été reconnu que cette opéraiton, non seulement est très pratique, mais encore peut être effectuée à un prix fort modique. Il y a dans ces résultats le germe d'une application importante de l'ozone, car on évalue que les pertes résultant de la moisissure des fûts à bière s'élèvent à 2 500 000 fr par an, rien que dans le district de Burton-on-Trent. D'ailleurs, les tonneaux à vin et à alcool peuvent aussi être traités avantageusement.

D'autres essais ont été faits sur l'application de l'ozone à l'épaississement de l'huile de lin et des autres huiles siccatives employées en peinture et dans la fabrication du linoléum. Il a été reconnu que le traitement par l'ozone ne revient qu'à 5 fr par tonne d'huile, tandis que les autres modes de traitement coûtent au moins 12,50 fr. En outre, l'huile traitée par l'ozone est beaucoup plus blanche que les autres et par conséquent convient mieux pour la préparation de certaines couleurs délicates employées en peinture et dans l'industrie du linoléum ; les fabricants de peinture et de linoléum se trouvent d'ailleurs très bien de son emploi, s'il faut en croire quelques attestations reproduites dans l'article.

Enfin, il paraît résulter d'expériences faites par le Dr S. Rideal que l'ozone peut trouver un débouché dans la métallurgie de l'or. On sait en effet que certains minerais aurifères sont rebelles au traitement par le cyanure ; or, d'après le Dr Rideal, le traitement préalable de ces minerais par l'ozone permettrait de les traiter ensuite par le cyanure.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XIII. Samedi 4 Décembre 1897 4e Année. — N° 49.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

LES TRAMWAYS BRUXELLOIS A TRACTION ÉLECTRIQUE SOUTERRAINE

L'Exposition universelle de 1897 a provoqué à Bruxelles des améliorations diverses, affectant spécialement les moyens de transport. C'est ainsi que pour deux lignes existantes (Bois-Schaerbeek, et impasse du Parc Casernes avec prolongement vers le Bois) appartenant à la Société des tramways bruxellois, la traction électrique a été substituée à la traction animale au cours de la présente année (voir fig. 1).

Pour ces raisons d'esthétique et pour ne plus donner prise aux critiques soulevées précédemment par l'établissement de la traction électrique à conducteur aérien, aux boulevards extérieurs de Bruxelles, l'administration compétente n'a autorisé ladite transformation qu'à la condition de voir employer le système, encore peu répandu, de canalisation à caniveau souterrain. Mais si les esthètes sont satisfaits, il n'en a pas été de même du commun des mortels, qui a dû patauger tout l'hiver dans les rues bouleversées par les travaux.

LIGNES A ATTRACTION ÉLECTRIQUE ÉTABLIES A BRUXELLES PAR L'UNION ELEKTRICITAETS GESELLSCHAFT DE BERLIN

DÉSIGNATION DE LA LIGNE	Société exploitante.	Date de la mise en exploitation.	Longueur de la ligne en kilomètres.	Nombre de voies.	Nombre de voitures motrices.	Système de prise de courant.
Boulevards circulaires (hauts). . .	Tramways bruxellois	Juin 94	4,7	Double	25	Aérien
Avenue Louise-Uccle	id.	Juin 94	5,5	»	5	»
Place Rouppe-Petite-Espinette . .	Tramways vicinaux	Juin 94	11,5	Double en partie	24	»
Gare du Midi-Uccle-Globe. . . .	Tramways bruxellois	Automne 96	4,1	»	7	»
Impasse du Parc-Rond-Point-Exposition.	id.	Mai 97	2,5	Double	41	Souterrain
Prolongement Rond-Point-Bois . .	id.	Juin 97	3	»		Aérien
Bois de la Cambre-Schaerbeck. . .	id.	Septemb. 97	7,9	»	24	Souterrain

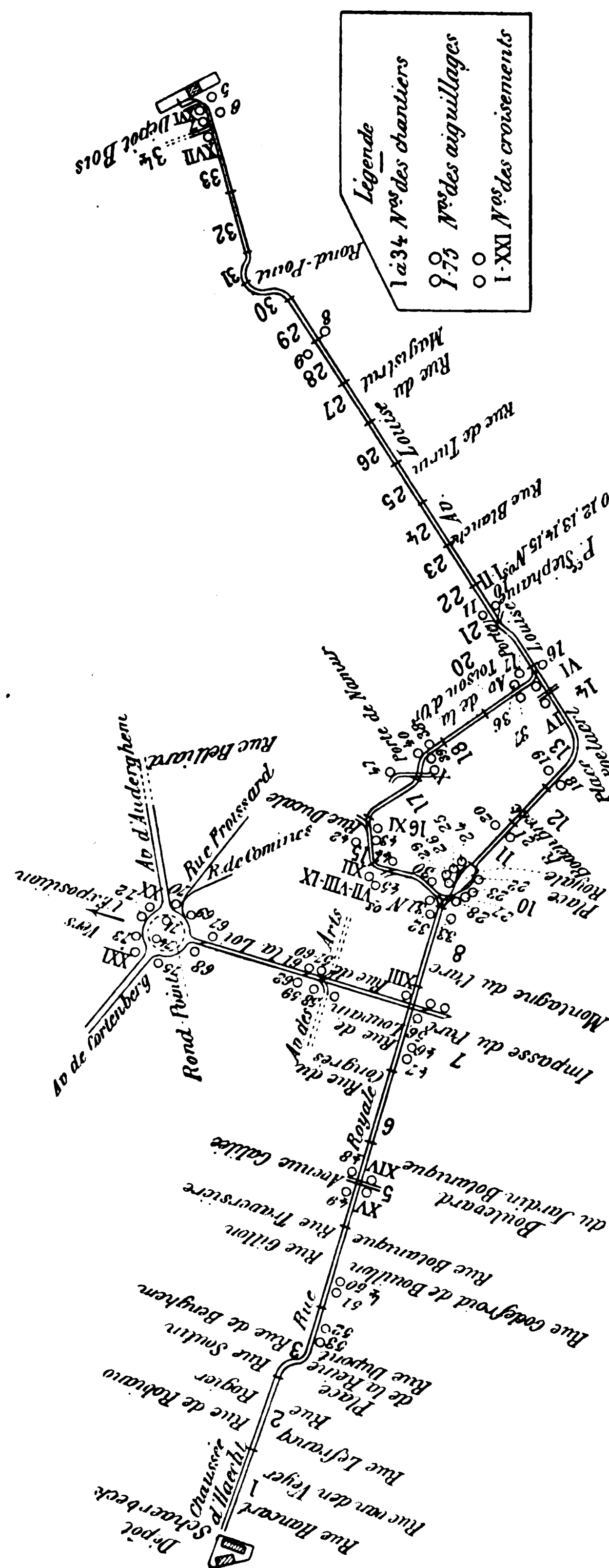


Fig. 1. — Plan des lignes de tramways électriques à caniveau souterrain de Bruxelles.

La transformation de ces lignes avait cependant été adjugée en entreprise générale, par la Compagnie des tramways bruxellois, à l'*Union Elektricitaets Gesellschaft de Berlin*, société des plus importantes et qui avait déjà fait ses preuves à Bruxelles, puisque, à cette date, c'était la seule société qui, à Bruxelles avait entrepris de telles transformations. — (Voir au tableau ci-dessus l'importance de celles-ci.)

La longueur totale des deux lignes à alimentation souterraine comporte 10,4 km de double voie ; une partie de la ligne Impasse du Parc-Bois étant à fil aérien. Cette exploitation a nécessité l'achat de 72 voitures motrices, plus les voitures à remorquer. Naturellement, pour une telle augmentation du trafic, la station génératrice située rue Brogniez, avec ses 5 petites machines de 100 kilowatts chacune, ne suffisait plus. Aussi fut-il ajouté de nouvelles machines plus puissantes notamment deux moteurs de 400 kilowatts et deux machines de 225 kilowatts chacune.

En outre, comme l'achèvement des machines à vapeur par la société chargée de la sous-entreprise de cette partie demandait du temps, il fut établi par l'Union, rue Brogniez, une station génératrice provisoire avec 3 séries de machines de 100 kilowatts chacune qui alimentaient la ligne de l'Exposition jusqu'à l'achèvement des constructions définitives.

Quant à la ligne du Bois-Schaerbeek, elle a été mise en exploitation le 11 septembre.

Le système de traction électrique appliqué à Bruxelles pour ces deux lignes est le système à alimentation souterraine, la prise de courant se faisant sur un conducteur posé dans un caniveau spécial sous la voie. Dans l'espèce, le conducteur est formé d'un fer laminé, et à Bruxelles, l'on a exigé pour ces deux lignes, l'emploi d'un conducteur de retour, isolé du sol et placé dans ce même caniveau, au lieu de permettre le retour par le rail. Le caniveau a été établi directement au-dessous de l'un des rails, de façon à éviter la pose de rails spéciaux pour la rainure du caniveau, ce qui aurait été nécessaire si celui-ci

avait été posé au milieu de la voie ou sur le côté de celle-ci.

Comme l'isolation des deux rails conducteurs de courant est établie absolument de même façon, il y a normalement une même différence de potentiel entre chacun de ces conducteurs et la terre, et celle-ci est habituellement égale à la moitié de la différence de potentiel entre les deux conducteurs, c'est-à-dire à 250 volts. Ce n'est qu'en cas de défaut sur l'un de ces rails, que la différence de potentiel de la terre à l'autre de ces conducteurs augmente, jusqu'à pouvoir même atteindre 500 volts, en cas de terre absolue sur l'un de ces rails.

Comme il vient d'être dit, les conducteurs sont en fer laminé, profilé en forme de double T. Le contact se produit à leur surface supérieure qui, dans ce but, est un peu convexe. Les prises de courant, alias les charrues, sont disposées de façon à pouvoir être introduites ou retirées du caniveau en n'importe quel point de la voie.

A chaque bifurcation ou croisement du caniveau, le conducteur est interrompu, et la voiture doit franchir cette solution de continuité par la force acquise. La prise de courant est guidée à ces bifurcations par des pièces d'about prolongeant les rails de contact vers le bas et qui forment un plan incliné sur lequel le clapet de la charrue est obligé de remonter.

Les feeders alimentant cette canalisation souterraine à double conducteur sont également formés de deux câbles; ceux-ci, qui sont armés et proviennent de la maison Felten et Guilleaume, sont posés directement dans le sol, extérieurement aux voies, une couche de briques à sec étant posée au-dessus d'eux. Ces feeders sont au nombre de trois pour la ligne du Bois-Schaerbeek. Ils aboutissent aux points suivants : avenue Louise, coin de la rue de la Concorde; rue de la Régence, coin de la place du Sablon et rue Royale, porte de Schaerbeek. Un seul feeder alimente le tronçon souterrain de la ligne impasse du Parc-Rond-point; son centre de distribution est à l'impasse du Parc même.

La liaison des feeders avec les conducteurs de prise de courant des deux caniveaux est établie par les boîtes de raccord habituelles aux canalisations en câbles armés. Dans les caniveaux, les rails de contact de même pôle sont réunis électriquement tous les 500 m environ de façon à obtenir une meilleure répartition du voltage.

Normalement chacun des feeders précités alimente une section bien déterminée, les rails de contact de ceux-ci étant coupés à certaines places. C'est ainsi que le feeder porte de Schaerbeek alimente le tronçon chaussée de Haecht, impasse du Parc; le feeder grand Sablon, le tronçon impasse du Parc, place Stéphanie; le feeder rue de la Concorde, le tronçon place Stéphanie-Bois et le feeder impasse du Parc, la ligne de la rue de la Loi seule, ce sectionnement présente deux avantages : d'abord en cas d'accident dans un caniveau ou un feeder, l'on peut mettre hors service la section défectueuse seule sans couper le courant sur les autres; enfin, en cas de simple mise à terre d'un des conducteurs du réseau (ce qui dans ce système à deux conducteurs n'entraîne pas la fusion d'un plomb comme dans le cas de retour par le rail), ce système facilite les recherches. La plupart du temps un tel défaut se présente dans la voiture même, controller, moteur ou charrue et l'on peut parvenir à déterminer la voiture défectueuse, en constatant le passage du défaut en question sur chaque section successivement. Les indications relevées à la station, comparées aux horaires des voitures, permettront cette détermination. L'inconvénient de ce sectionnement pourrait être de laisser tout un tronçon longtemps hors service, en cas d'avarie survenant à un feeder. Il y est paré par un commutateur placé à chaque extrémité de section, qui permet, en cas de suppression du feeder propre à la partie considérée, de relier ce tronçon sur la section voisine et de l'alimenter également par le feeder de celle-ci.

La station génératrice qui est établie pour une puissance de 1 750 kilowatts est cons-

truite selon le croquis donné figure 2. L'ancienne station, forte de 500 kilowatts servira principalement de réserve. Les deux nouvelles dynamos de 400 kilowatts sont actionnées par deux machines à vapeur horizontales, tandem, de 750 chevaux chacune, et les deux dynamos de 225 kilowatts par des moteurs de 400 chevaux. La distribution est à soupapes et la vitesse de rotation des moteurs est de 100 tours pour les premiers et de 120 tours pour les derniers.

Ces machines à vapeur fonctionnent à condensation et pour assurer une continuité de marche complète, la conduite de vapeur établie dans les caves, est double dans toutes ses parties. Les machines ont été construites par la maison Vandenkerkhoven à Gand et les dynamos par la Compagnie Internationale d'Électricité (Pieper) à Liège, d'après les dessins et données de l'Union Elektricitaets Gesellschaft. La tuyauterie a été établie par la firme Breuer et C° de Hoechst. — Ces dynamos sont du type habituel de l'Union, compound à induit tambour, à 8 pôles pour celles de 400 kilowatts et à 6 pôles pour celles de 225 kilowatts. Les balais sont en charbon.

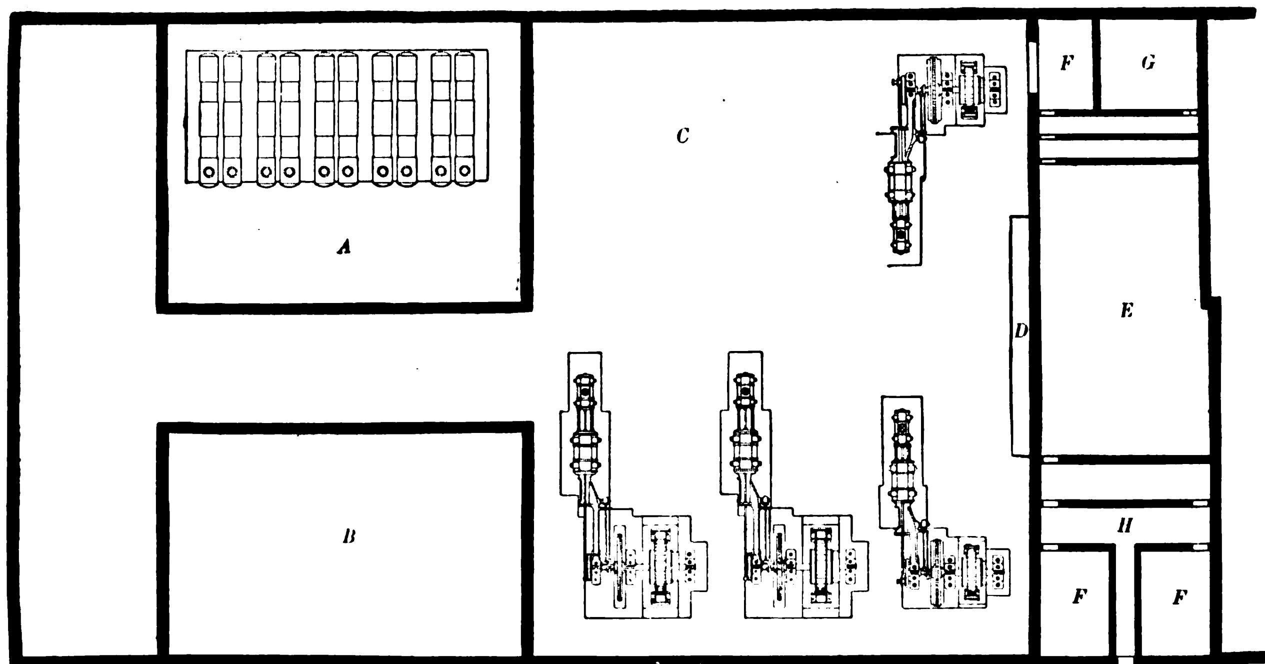


Fig. 2. — Plan de la station génératrice.

A, chambre des chaudières (trois chaudières Babcock et Wilcox); B, parc à charbon; C, chambre des machines (deux moteurs compound de 670 chx couplés à des dynamos de 400 kwts et deux moteurs compound de 355 chx couplés à des dynamos de 225 kwts); D, tableau de distribution; E, magasin; F, F, F, bureaux; G, laboratoire; H, vestibule.

Le tableau de distribution qui est établi d'après le principe généralement admis par l'Union Elektricitaets Gesellschaft est disposé de telle façon que chacune des 9 machines puisse indifféremment travailler sur le réseau aérien ou sur le réseau souterrain (voir fig. 3). Ces deux réseaux sont évidemment complètement séparés puisque l'un est établi à double conducteur et l'autre avec retour par le rail.

Les connexions des machines et feeders sont établies de la façon suivante : tous les positifs et fils de compensation des dynamos aboutissent chacun à deux interrupteurs bipolaires situés sur la machine même. Une série de ces interrupteurs bipolaires a une borne reliée à un câble général positif et l'autre borne reliée à un câble général de compensation pour le système aérien; de même l'autre série d'interrupteurs est reliée semblablement à deux câbles analogues pour le ser-

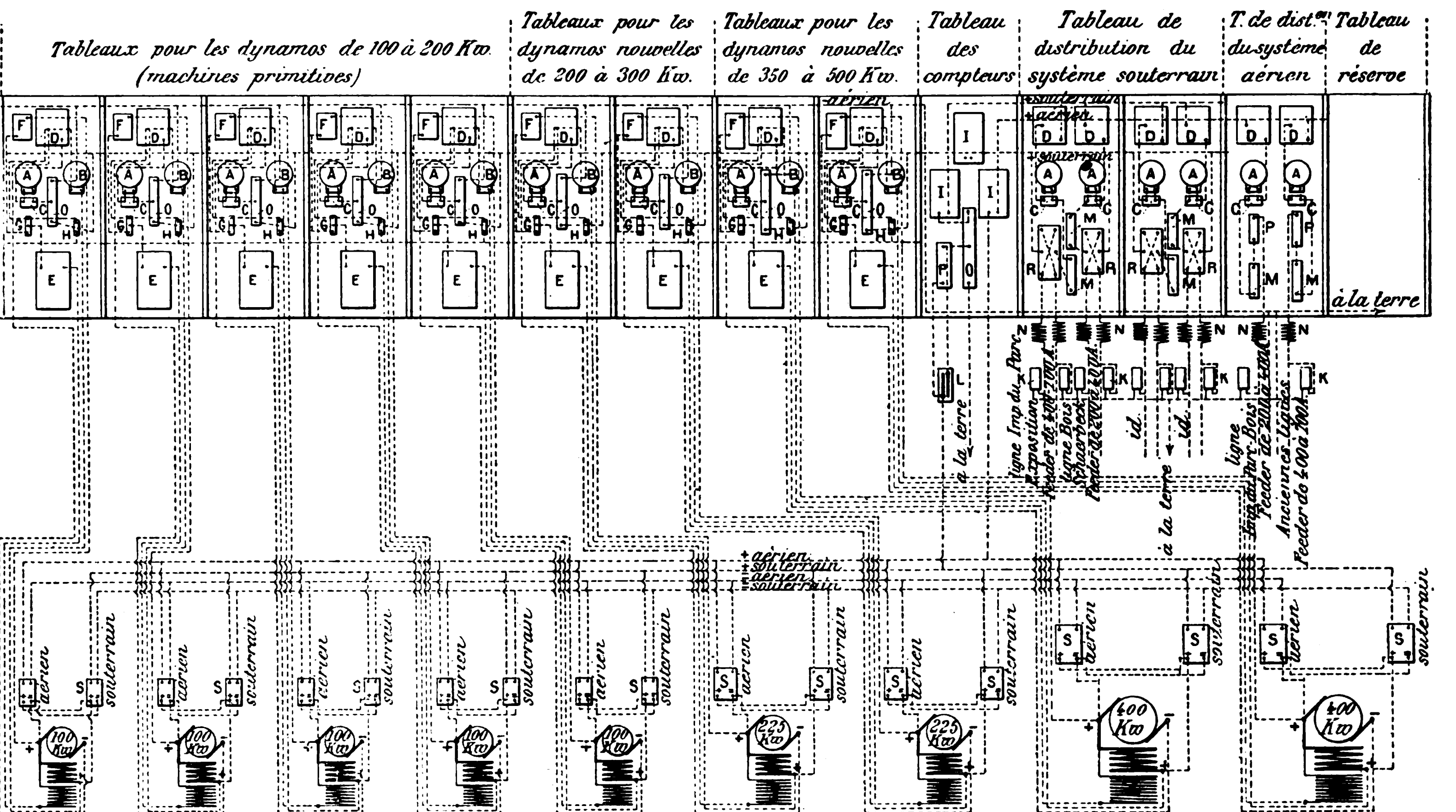


Fig. 3. — Tableau de distribution de l'usine génératrice.

A, ampèremètre; B, voltmètre; C, shunt; D, interrupteur automatique; E, rhéostat de l'excitation shunt; F, résistance pour la self-induction; G, commutateur de l'excitation shunt; H, interrupteur de l'éclairage; I, compteur d'énergie; K, parafoudre; L, rhéostat liquide; M, plomb fusible; N, bobines d'induction; O, commutateur unipolaire; P, interrupteur unipolaire; R, commutateur bipolaire; S, interrupteur bipolaire.

vice souterrain. Ce câble général positif pour le système souterrain aboutit au tableau des feeders de ce système. L'autre positif aboutit de même au tableau des feeders du réseau aérien. Ces câbles passent au préalable par les compteurs.

Les câbles négatifs des dynamos aboutissent chacun séparément à un troisième tableau qui porte simplement les appareils nécessaires aux dynamos. Ce câble négatif de chaque machine, après être passé par un ampèremètre et un interrupteur automatique, est relié à un interrupteur à deux voies. Une direction de tous ces interrupteurs est connectée à un câble général négatif pour le système aérien qui, du tableau, va directement à terre ; l'autre direction est reliée à un autre câble général négatif qui aboutit à la barre négative du tableau des feeders du système souterrain. — Grâce à ce dispositif qui n'amène pas au tableau des machines, des câbles de polarité différente, on évite des courts circuits de manœuvre, et de plus, les câbles de compensation étant ainsi réduits à leur longueur minimum, on obtient une compensation plus sensible et plus efficace, ce qui, dans le cas de machines puissantes, et par suite, de faible résistance intérieure, ne peut s'obtenir facilement avec des câbles longs, la résistance de ces connexions devenant alors comparable à celle de la dynamo même. — Sur ce même tableau existe encore par machine, un voltmètre et un rhéostat de réglage pour l'excitation shunt.

Chacun des feeders du réseau souterrain est relié aux barres générales du tableau des feeders par un interrupteur bipolaire à deux voies permettant d'utiliser indifféremment chacun des câbles du feeder comme positif ou comme négatif. En supplément un interrupteur automatique est mis en série sur un seul des deux câbles de chaque feeder. Cet appareil est réglé pour un ampérage moindre que celui des automatiques des dynamos. De cette façon, en cas de court circuit sur une section, c'est l'automatique du feeder de celle-ci qui saute seul et l'on évite l'arrêt sur les autres tronçons du réseau. Enfin, on parvient de la sorte à éviter dans la plupart des cas le déclanchement de l'automatique de la machine, qui, en la coupant complètement du réseau, perturbe la compensation et ne permet plus de remettre la machine en service avant d'avoir rétabli la compensation du voltage.

Il est intéressant de signaler le dispositif établi au tableau et permettant d'intercaler, en tout temps, en marche, une résistance liquide sur l'ensemble du système *souterrain*, et ce aussi bien entre les deux conducteurs qu'entre l'un quelconque de ceux-ci et la terre. Ce dispositif offre la possibilité, en cas de défaut d'isolement dans la voie, d'envoyer pendant un certain temps, au travers de la place défectueuse, le maximum de courant que l'usine peut produire, et de cette manière, l'on peut arriver à brûler le défaut d'isolement. Ou bien en cas de court circuit, faisant sauter l'automatique, il permet de réduire l'intensité prise par ce court circuit de façon à maintenir l'automatique fermé et à brûler le défaut à la longue.

Pour surveiller l'isolement du réseau, l'on emploie le système bien connu de lampes mises en série entre les conducteurs avec dérivation à la terre reliée entre les deux lampes du milieu.

La construction de la voie a offert les plus grandes difficultés et toutes les circonstances défavorables ont paru s'entendre pour augmenter les complications du travail : le temps accordé à l'achèvement était fort restreint (8 mois) ; la saison était fort inclémente et la neige et la pluie n'ont pas fait défaut ; l'exploitation, par chevaux, des lignes à transformer devait être maintenue ; enfin un nombre extraordinaire de conduites d'eau, de gaz, etc., devait être déplacé, ou bien parce que celles-ci empiétaient sur l'espace nécessaire à la construction des caniveaux, ou bien parce qu'elles traversaient complètement ces derniers.

L'enlèvement préalable de ces conduites avait pour conséquence de laisser un terrain de remblayage aux endroits prévus pour la construction des caniveaux. Aussi ceux-ci ne

pouvaient-ils être établis qu'après l'exécution de travaux de fondation non sans importance. En général, la carcasse de fer de la canalisation était placée sur une couche de béton de 15 cm d'épaisseur. Pour simplifier les travaux de terrassement et de fondation, les deux caniveaux ont été rendus voisins et placés sous les rails du milieu de la double voie.

La carcasse en fer qui forme le gabarit du caniveau, consiste en étriers en fonte éprouvés pour une résistance de 30 tonnes et placés à 1,25 m de distance l'un de l'autre sur la fondation de béton citée plus haut (voir fig. 6). Sur ces étriers reposent, fixés par des équerres en fer, les deux demi-rails qui, distants de 30 mm l'un de l'autre, affleurent le niveau du pavement et ménagent la rainure par où s'introduit la prise de courant. L'un de ces demi-rails sert aussi de rail de roulement. Celui-ci, situé vers l'entre-voie, est fixé par des entretoises métalliques au demi-rail correspondant de l'autre voie. L'autre demi-rail est entretoisé avec l'autre rail de roulement de la même voie qui, lui, est établi de la façon ordinaire. La hauteur des étriers surmontés des rails est de 754 mm. L'espace libre dans le caniveau est de forme ovale ayant 320 mm de largeur sur 482 mm de hauteur. Les parois du caniveau sont faites en béton qui est coulé sur place entre les étriers même ou bien qui est placé en morceaux entiers arrivant tout moulés sur le chantier. Plus tard, afin d'accélérer la construction, on fit aussi usage de maçonnerie pour les parois. La charge roulante du tramway est transmise directement du rail au béton de fondation par les étriers, sans que le caniveau proprement dit n'ait à supporter aucune fatigue de ce chef. Mais le pavage voisin du rail devant reposer sur le béton des parois du caniveau (dont une partie est en porte à faux), l'on a posé au-dessus de chaque bloc, formant le caniveau entre les étriers, une fourrure en fer; de sorte, que lorsqu'un chariot passe sur le pavage situé au-dessus de cette fourrure, la charge est répartie, sur toute la surface du bloc. Au début, cette précaution n'avait pas été prise, et certains de ces blocs se sont effrités dans la partie de leur section, placée en porte à faux, et travaillant donc par flexion.

Pour accrocher les rails conducteurs du courant dans le caniveau, il est disposé des isolateurs distants de 5 m les uns des autres, suspendus partie dans les parois de béton, partie à des supports longitudinaux entre les étriers. En ces endroits, une niche est ménagée, pour l'isolateur, dans le caniveau de béton.

Les deux étriers entre lesquels un isolateur doit être posé sont reliés par un fer équerre boulonné sur leur partie supérieure. Au milieu de cette équerre et fixé par des boulons est suspendu un sabot en fonte qui embrasse la

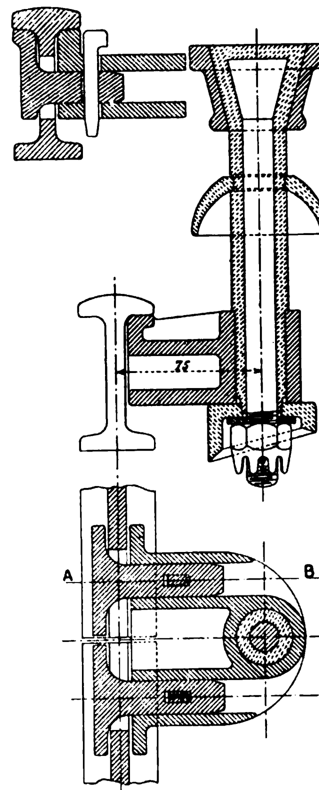


Fig. 4. — Coupes diverses d'un isolateur principal placé tous les 10 mètres, à la jonction des rails conducteurs.

tête tronçonique d'un boulon assez long (voir fig. 4). La tête de ce boulon est isolée du sabot par une feuille de caoutchouc qui enveloppe

également le corps de celui-ci. A la partie inférieure de ce boulon est enfilée une pièce métallique dont la section horizontale est semi-elliptique. Le trou percé dans cette pièce, pour permettre le passage du bouton, entoure celui-ci au-dessus de sa gaine de caoutchouc; un écrou, fixé sur l'extrémité inférieure du boulon, soutient la pièce ci-dessus, avec interposition d'une rondelle de caoutchouc entre l'écrou et la pièce en question. C'est cette ferrure semi-elliptique qui supporte le rail conducteur. Dans ce but l'âme de celui-ci est fixée contre la section diamétrale limitant

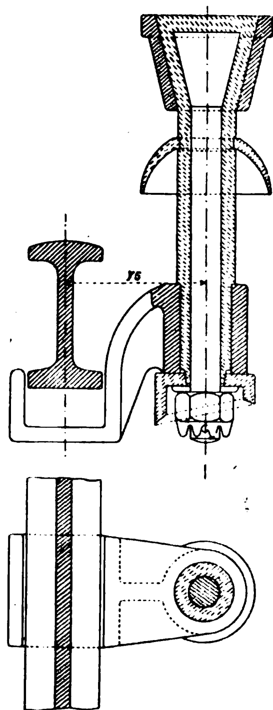


Fig. 5. — Coupes d'un isolateur intermédiaire.

cette demi-ellipse au moyen de tenons ou goujons à tête, pénétrant dans des trous percés dans l'épaisseur de la pièce, et que des goupilles main tiennent en place. L'on peut constater que l'isolation du conducteur à la terre est double : d'une part la ferrure est isolée du corps du boulon, d'autre part celui-ci est isolé du sabot : aussi ces isolateurs donnent-ils de très bons résultats.

Le corps de l'isolateur est muni d'une cloche, pour empêcher le ruissellement de l'eau le long du boulon.

Aux points de jonction des rails de contact (soit tous les 10 mètres) les isolateurs de support sont tels que je viens de le décrire, un des tenons pénétrant dans l'âme d'un des rails et l'autre tenon soutenant l'autre rail. Entre ces isolateurs, se trouvent des isolateurs intermédiaires qui soutiennent le rail conducteur en son milieu. En ces points, où le rail traverse simplement l'isolateur, il est fait usage d'un modèle un peu différent représenté à la figure 5.

Il est également prévu, devant chacun de ces isolateurs, des regards de visite permettant en tout temps la surveillance de ces points de jonction. Une boîte de surveillance sur trois ou quatre est mise en relation, par un tuyau en poterie, avec le réseau d'égouts de la ville (voir fig. 6). Ces raccords servent uniquement à l'évacuation des eaux de pluie ; la boue et les ordures restent s'amonceler dans lesdites chambres de visite, d'où elles sont enlevées durant la nuit à des intervalles réguliers plus ou moins rapprochés. Le nettoyage intérieur du caniveau se fait également la nuit quand les conducteurs ne sont pas en charge, au moyen d'un jet d'eau de la ville dirigé contre les parois. La disposition de ces points de visite est variable et dépend de leur situation La couverture de ces puits est constituée par un encadrement en fonte qui est rempli par des pavés en bois, de sorte que la différence avec le pavage de la rue est relativement faible.

Lors de la construction de ces caniveaux, les lignes ont été divisées en sections d'environ 200 mètres. Chaque section (et parfois le travail de construction était mené de front sur une dizaine de celles-ci) était déchargée du service à traction animale par une voie volante latérale et en cinq à six semaines la section était achevée et pouvait être rendue à l'exploitation normale. Ces voies volantes étaient formées de rails plats, à rainure, et à large assise (type Barlow), réunis par des traverses en fer plat, le tout étant posé direc-

tement au-dessus du pavage, dans lequel la voie était fixée par des crampons enfoncés

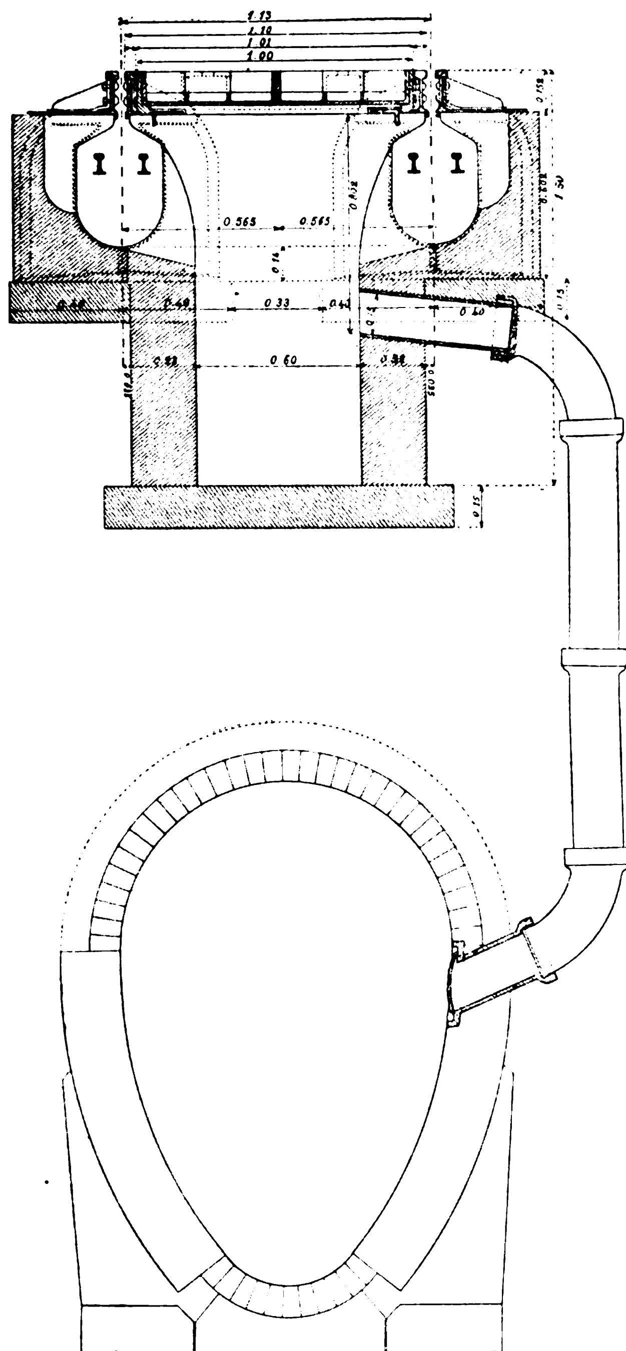


Fig. 6. — Coupe des caniveaux et coupe d'un regard de visite avec raccord à l'égout.

entre les pavés. Au raccordement avec la voie normale, les abouts étaient taillés en biseau; mais ce système, quelque ingénieux qu'il soit, n'a pas été sans abîmer fortement le matériel roulant, qui recevait de fortes secousses à ces changements de voie et qui, avec un des deux types de rail employés, y déraillait fort souvent. Pour l'ensemble des travaux, il a été fait emploi d'un total de 2 kilomètres de voie volante. Aux points où le trafic était très intense, la voie volante, en saillie sur le pavage, ne pouvait être employée et il a fallu y poser une voie provisoire ordinaire établie dans la chaussée. Ces travaux fort considérables ont été confiés principalement à la firme Ruelens frères, qui dans les derniers mois avait, pour l'ensemble des chantiers, plus de 1 000 ouvriers employés à la construction. Tout le matériel en fer est de provenance belge, à la seule exception des dispositifs de changement de voie.

Ceux-ci proviennent d'Allemagne, de l'aciérie d'Osnabruck et de la firme Voegele de Mannheim. Il a été posé un total de 72 aiguilles simples et de 35 croisements simples. Le poids moyen d'une aiguille pour caniveau comporte 4 tonnes de fer seul. Le montage de ces aiguilles a dépassé en difficulté toutes les attentes et il n'a pu être terminé en temps que parce que la société adjudicatrice s'est décidée à l'acquisition de tentes qui, tendues sur tout l'emplacement réservé à ces appareils de la voie, mettaient les ouvriers à l'abri des intempéries et malgré la saison hivernale permettaient un travail ininterrompu.

Comme il a été dit plus haut, il a été construit pour l'exploitation de ces lignes 72 voitures motrices qui sont toutes disposées de telle façon qu'on puisse les employer tant sur les lignes à conducteur aérien que sur des voies à caniveau souterrain. Ce dispositif était obligatoire parce que toutes les lignes empruntent des portions de voies des deux systèmes. Toutes les voitures sont munies de deux moteurs de 25 chevaux chacun et elles sont à même de remorquer deux voitures attelées. Les voitures motrices ont 38 places, les voitures remorquées en ont 34.

Le dispositif pour la prise de courant dans

le caniveau (voir fig. 7) se trouve entre les roues et consiste en *deux* tables ou charrues placées l'une derrière l'autre, qui peuvent être relevées par un fil métallique et qui s'abaissent par un contrepoids. Cette manœuvre s'opère de l'endroit où se trouve le conducteur.

Le courant est amené des charrues aux conducteurs de la voiture par un parallélogramme articulé qui pendant cette manœuvre s'allonge ou s'aplatit comme il convient.

Fig. 7. — Élévation et coupes d'une charrue.

Chacune de ces deux charrues se compose d'une fourche en acier qui constitue le support de la prise proprement dite. A la partie inférieure de ce cadre et dans l'encoche qui y est ménagée, est fixé un axe autour duquel peut tourner le clapet de prise de courant. Celui-ci est maintenu normalement dans une position à 45° vers le bas par rapport à la

verticale, au moyen d'un ressort à boudin enroulé autour de l'axe précité et dont un bout est fixé au clapet et l'autre à la fourche. Des deux côtés de cette fourche et isolées électriquement de celle-ci par des feuilles de caoutchouc, se trouvent deux joues en bronze. Celles-ci descendent jusqu'au niveau supérieur de l'encoche de la fourche et règnent sur toute la partie de celle-ci située dans la rainure proprement dite du caniveau, et extérieurement à celui-ci. Le clapet de prise de courant est normalement en saillie sur l'alignement de ces joues, tandis que la fourche avec ses deux plaques de bronze a une largeur de 5 mm moindre que celle de la rainure d'entrée du caniveau.

Quand on abaisse la charrue, le clapet vient buter contre le bord de la rainure, tourne vers le haut autour de son axe, se loge dans l'encoche de la fourche, pénètre avec elle dans la rainure ; quand il a dépassé celle-ci, il est rappelé vers le bas par le ressort dont il est solidaire et se remet en saillie par rapport au plan des flasques. Il est alors dans le caniveau, mais pas encore en contact avec le rail conducteur. La charrue s'abaisse encore, le clapet touche le bourrelet du rail, et, la descente continuant, le clapet tourne sur son axe, si bien que le ressort se tordant exerce une pression suffisante pour la prise de courant, par frottement du clapet, sur le rail conducteur.

Le retrait de la charrue s'opère d'une façon analogue, avec cette différence qu'au passage de la rainure le clapet tourne vers le bas pour être finalement ramené dans sa position normale par son ressort de rappel. La charrue, qui prend le courant au conducteur situé à droite dans le caniveau, a son clapet orienté normalement vers la droite ; l'autre charrue a son clapet orienté vers la gauche.

Les charrues portent sur une des flasques un butoir garni de caoutchouc destiné à limiter la course de la charrue et à amortir les chocs lors de la manœuvre d'entrée et de sortie de celle-ci.

Il serait à craindre que le conducteur, arrivé à une extrémité du caniveau, oubliât de retirer la charrue qui ainsi viendrait se briser contre les parois. Pour éviter ces accidents, les parois des caniveaux se terminent en plan incliné aux extrémités des lignes, et la charrue porte en saillie vers le bas, et dans l'axe du caniveau, un appendice muni d'un galet qui toucherait ce plan incliné et ferait remonter la charrue hors du caniveau au cas où le conducteur aurait omis de relever la charrue au bout de la ligne.

Chaque voiture est munie de deux de ces *doubles prises* de courant : l'une située entre les deux roues d'un côté de la voiture, et l'autre située de l'autre côté. L'une de ces prises se manœuvre d'une des plates-formes et sert pour la marche de la voiture sur la voie *montante;* l'autre se manœuvre de l'autre plate-forme et est utilisée lorsque la voiture est sur la voie *descendante*. Les voitures possèdent également une perche avec troley. Un commutateur spécial est disposé sur la voiture et empêche de pouvoir relier électriquement le troley, les charrues étant encore en contact, et empêche également de relier les charrues, celles-ci n'étant pas à fond de course.

Les controllers, les rhéostats et les moteurs sont construits d'après le type habituel de l'Union Elektricitæts Gesellschaft.

L'exploitation de la ligne Impasse du Parc Exposition, avec bifurcation Rond-Point, Casernes, Bois-de-la-Cambre a été ouverte au public le 28 mai et n'a, jusqu'à présent, donné lieu à aucune réclamation. Le trafic y est cependant des plus intenses : des trains composés d'une voiture motrice et de deux voitures remorquées, toujours bondées, malgré leurs 106 places, se suivent toutes les minutes, du matin 7 heures, au soir à minuit.

Un trafic aussi intense, assuré d'une façon aussi complète, prouve que le système employé à Bruxelles, s'il présente des complications, a, en tout cas, été fort bien établi par l'Union Elektricitæts Gesellschaft. Son entreprise à Bruxelles, attirera une fois de plus l'attention des électriciens, sur cette importante Société.

Maurice TRAVAILLEUR.

DÉCHARGES ÉLECTRIQUES DANS LES GAZ RARÉFIÉS [1]

V. Phénomènes a la cathode.

A. Échauffement et pulvérisation de la cathode. — Nous avons vu plus haut qu'un espace obscur entoure la cathode et que la décharge issue de l'anode forme une espèce d'entonnoir s'appuyant seulement sur les bords de la cathode. Il semble que la cathode offre un obstacle aux oscillations qui se portent à sa rencontre. Effectivement nous devons admettre que cette résistance (qu'il ne faut pas confondre avec la résistance ohmique) existe, car elle se traduit par une perte d'énergie que subit la décharge. Cette énergie, perdue par la décharge, est transformée pour une partie en travail mécanique et en chaleur.

Le travail mécanique consiste dans la « pulvérisation » de la cathode, qui a été depuis longtemps observée. Des particules métalliques sont arrachées de la cathode et, lancées de toutes parts, viennent recouvrir les parois du tube. Faisons remarquer en passant que cette pulvérisation n'est pas liée aux rayons cathodiques, car elle se produit déjà dans des tubes où la pression est trop grande pour que les rayons cathodiques puissent traverser la région obscure et atteindre la paroi où se fait le dépôt métallique.

Le dégagement de chaleur est assez considérable, quand la décharge est un peu intense, pour porter la cathode à l'incandescence; il dépend de la pression et du rythme des oscillations. Un fil de platine servant de cathode devient incandescent quand la pression est comprise entre certaines limites : l'élévation de température de la cathode croît d'abord quand la pression diminue, puis ensuite décroît. Il est aisé de s'en rendre compte si on remarque que l'intensité des rayons cathodiques croît constamment quand la pression diminue et que ce rayonnement absorbe de plus en plus d'énergie; aux pressions moyennes, la plus grande partie de l'énergie est au contraire transformée en chaleur.

B. Rayons cathodiques. — Lorsqu'on diminue de plus en plus la pression dans un tube à décharges, les phénomènes qui se montraient tout d'abord à l'anode s'affaiblissent de plus en plus et finissent par disparaître à peu près complètement. A la cathode, au contraire, les apparences ne changent pas essentiellement, mais apparaissent de plus en plus intenses les *rayons cathodiques* qui, lorsqu'ils atteignent une paroi de verre, forment sur cette paroi une tache fluorescente verte. Ces rayons cathodiques ont fait l'objet de nombreuses recherches; nous rappellerons entre autres les expériences de Hittorf qui les a découverts, de Crookes, de E. Wiedemann et de Lenard. Il ne saurait être question ici de faire l'histoire complète de ces phénomènes; il s'agit seulement de parler de quelques-unes des propriétés des rayons cathodiques, considérés en particulier dans leurs rapports avec les décharges [2].

1. *Conditions de production des rayons cathodiques.* — La production des rayons cathodiques est étroitement liée à la décharge électrique dans les gaz très raréfiés. D'après Kowalski ils prennent naissance principale-

---

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 20 novembre, p. 337.

[2] Les travaux parus avant 1885 sont résumés dans « G. Wiedemann. *Die Lehre der Elektricität*, Bd. IV ». Les recherches nouvelles se trouvent publiées dans les *Wiedemann's Annalen*, ou résumées dans les *Beiblätter*. Nous engageons les personnes qui travaillent dans ce domaine à revoir la littérature, car beaucoup de résultats, dont le livre de Wiedemann fait mention, ont été retrouvés avec peine dans les recherches consécutives aux travaux de M. Rœntgen.

(Note de M. E Wiedemann.)

Nous ajouterons que de nombreuses analyses des travaux récents ont été faites dans ce journal et dans *La Lumière Électrique*. En particulier la traduction in extenso de deux des plus importants mémoires de Lenard a été publiée dans *La Lumière Électrique*, t. LII, p. 291, 338, 439, 537, 1894.

ment dans les régions où la décharge présente une grande densité. Dans le vide poussé aussi loin que possible, ils ne se produisent pas bien qu'ils puissent s'y propager quand ils ont pris naissance ailleurs (Lenard). Dans un tube vide placé dans le condensateur de Lecher, les rayons cathodiques sont d'autant plus intenses que l'étincelle primaire est plus longue, c'est-à-dire que la chute de potentiel est plus grande, ils n'apparaissent que si les fils portent un pont dans le voisinage immédiat d'un nœud.

La nature des surfaces terminales du tube est indifférente; les phénomènes sont les mêmes, que le tube soit fermé par des plaques de verre ou des plaques métalliques. Lorsque le tube est un cylindre fermé par des bases planes, les rayons cathodiques partent en partie de l'angle compris entre la surface latérale et la base du cylindre. L'angle que font ces rayons avec la base du cylindre croît lorsque la pression diminue. Mais le milieu de la base émet aussi, dans une direction à peu près normale à sa surface, des rayons qui forment sur la base opposée une tache fluorescente verte; si le tube est suffisamment étroit, une partie de la paroi du tube qui est normale aux surfaces équipotentielles entre les armatures du condensateur, joue aussi le rôle de cathode, ce qui atteste une déviation des tubes de force.

2. *Action du champ magnétique sur les rayons cathodiques.* — Les rayons cathodiques sont déviés par les aimants, d'autant plus facilement qu'ils se propagent dans une atmosphère moins raréfiée. Le champ magnétique agit principalement sur les points d'émission des rayons, qu'il fait se déplacer à la surface de la cathode. Le faisceau primitif est partagé entre plusieurs faisceaux partiels; en d'autres termes il se produit une *dispersion*. Si on augmente l'intensité du champ magnétique la dispersion croît, de même que le déplacement total. L'action du champ se fait donc sentir déjà sur les phénomènes qui se passent dans la cathode même et donnent naissance aux rayons cathodiques; leur siège est principalement sur la surface même.

Le champ magnétique influe également sur le potentiel de décharge que, suivant les circonstances, il peut élever ou abaisser. Un champ de faible intensité abaisse le potentiel de décharge, ce qui s'explique par l'augmentation de section qu'il provoque dans le faisceau cathodique et qui favorise l'entrée de l'électricité dans la cathode. Dans un champ intense, au contraire, les rayons sont complètement rejetés de côté et la lumière positive ne peut plus parvenir dans les régions de la décharge où doit se faire la réunion des électricités.

3. *Les rayons cathodiques pénètrent les métaux; leur réflexion.* — Les rayons cathodiques traversent des lames métalliques, très minces à la vérité, assez épaisses pourtant pour être tout à fait opaques à la lumière, propriété qui se concilie difficilement avec l'hypothèse de la matière radiante de Crookes. Au contraire, les diélectriques, même très minces, sont absolument impénétrables à ces mêmes rayons. Ces phénomènes ne sont pas d'accord avec la théorie électromagnétique de la lumière, au moins sous la forme primitive que lui a donnée Maxwell et qui doit être modifiée [1].

Si les plaques que rencontrent les rayons cathodiques sont épaisses, ils sont réfléchis, c'est-à-dire qu'ils donnent naissance à de nouveaux faisceaux, ou bien ils sont diffusés.

Supposons d'abord que les rayons F_1 tombent sur une plaque métallique M. Autour de cette plaque se forment une région obscure et une lueur négative, comme autour de la première cathode C_1. De la surface antérieure de M part normalement un autre faisceau F_2, cette surface fonctionne comme une cathode. Si on tourne la plaque MM, le faisceau F_2 tourne également; il se propage

[1] Cf. Ebert. *Wied. Ann.*, t. LI, p. 268, 1894. *La Lumière Électrique*, p. 192, 28 avril 1894.

jusqu'à la paroi du tube, mais seulement tant que sa direction ne rencontre pas la région obscure de la première cathode C_1. Autrement, il ne pénètre pas dans cette région, mais est arrêté; seule la portion qui n'a pas à traverser la région obscure continue son chemin. Quand la direction du faisceau F_2 est telle qu'il vienne en entier se perdre dans la région obscure, celle-ci se déforme, devient plus petite et semble se contracter de toutes parts. Aux incidences très obliques, la réflexion devient diffuse, ce qui arrive déjà avec le platine sous l'incidence normale.

Sur les plaques métalliques, un faisceau étroit est complètement diffusé, à tel point que toute la paroi du tube en avant de la plaque devient fluorescente ; cette fluorescence est bien due aux rayons diffusés, puisqu'elle est nettement délimitée par la ligne d'intersection de la paroi avec le plan de la plaque prolongée. On ne remarque aucune concentration des rayons dans la direction qui correspondrait à la réflexion régulière. Il semble donc que dans certaines conditions les oscillations très rapides aient la propriété de se diffuser; du reste les formules de Hertz sont analogues aux formules relatives aux vibrations lumineuses diffusées, lesquelles ont été vérifiées expérimentalement. Sur les plaques diélectriques, les rayons diffusés sont relativement peu intenses, sous l'incidence normale : les rayons normaux sont plus développés. Aux incidences supérieures à 15°, les rayons diffusés atteignent la même intensité que dans la diffusion sur les plaques métalliques.

4. *Relations entre les phénomènes à la cathode et les oscillations.* — Les phénomènes qui se passent à la cathode ne dépendent pas de la résistance spécifique de cette cathode; en effet cette résistance ne joue qu'un rôle secondaire dans la production des oscillations.

Une cathode oppose toujours une grande résistance aux décharges de période convenable et de grande intensité; celles-ci cherchent à s'échapper par un point aussi voisin que possible du point relié au sol. Par exemple, dans un tube où la raréfaction est poussée assez loin la cathode est recouverte seulement de rayons très courts, quand aucun intervalle explosif n'est dans le circuit. Si au contraire on intercale dans ce circuit un chemin d'étincelle, une vive fluorescence verte apparaît sur la paroi de verre; cette fluorescence s'affaiblit quand les étincelles deviennent plus longues. Cette action de l'étincelle provient de ce qu'un changement dans sa longueur provoque une variation dans la période des oscillations et surtout dans leur amplitude et dans leur énergie. Dans le premier cas, lorsqu'aucune étincelle ne se trouve dans le circuit, les rayons cathodiques sont très courts, parce qu'ils n'ont pas l'énergie suffisante pour traverser la région obscure; avec la longueur de l'étincelle croît l'énergie des oscillations et, partant, celle des rayons cathodiques, qui peuvent alors franchir la région obscure.

Cette résistance que la cathode offre au passage des oscillations augmente, quand la surface par laquelle peuvent passer ces oscillations dimininue : il en résulte un accroissement du potentiel de décharge qui a été fréquemment constaté dans les expériences. Si la cathode est entourée sauf une petite portion par un isolant, du verre, par exemple, cette gaine de verre devient une cathode, quand elle reçoit des oscillations intenses et devient fluorescente. Les rayons cathodiques prennent naissance à sa surface et la cathode ainsi entourée se comporte absolument comme une cathode nue. Nous avons déjà vu plus haut qu'on obtient tout aussi bien les rayons cathodiques dans un tube sans électrodes que dans un tube à électrodes.

5. *Propriétés de la région obscure.* — La région obscure est due à la réaction des oscillations qui ne pénètrent que difficilement dans le métal de la cathode sur les nouvelles oscillations qui viennent de l'anode; cette explication est du moins compatible avec ce

fait expérimental que l'éther de cette région ne présente aucune propriété optique particulière.

Cette région obscure offre une grande résistance au passage de la décharge positive ainsi qu'au passage des rayons cathodiques émanés d'une autre cathode. Cette résistance explique dans beaucoup de cas la marche de la décharge positive. Elle diminue à mesure qu'on s'éloigne de la cathode et c'est sans doute là l'explication de la « déflexion » des rayons cathodiques signalée par Goldstein.

6. *Déflexion des rayons cathodiques.* — Dans un tube sont scellées deux cathodes voisines l'une de l'autre et en face d'elles un écran percé de deux fenêtres qui leur correspondent et on fait fonctionner successivement chacune des cathodes seule et on note la position des taches fluorescentes; ensuite, on fait fonctionner simultanément les deux cathodes et on constate que les taches sont plus écartées qu'elles ne l'étaient d'abord, comme si les deux faisceaux se repoussaient. Crookes avait admis l'existence de cette répulsion; mais Wiedemann et Ebert ont montré que l'écartement des taches restait le même quand l'une des fenêtres était fermée; la répulsion se produit donc en deçà de l'écran, du côté des électrodes.

Dans des recherches récentes [1], M. Deslandres a démontré que l'action s'exerce en réalité entre les deux cathodes. Si l'une des électrodes voisines joue le rôle d'anode la répulsion se change en attraction. D'autre part les rayons cathodiques sont attirés par tout corps conducteur ou isolant placé au voisinage de la cathode, que ce corps soit isolé ou qu'il joue le role d'anode [2]. Cependant l'hypothèse des actions électrostatiques est insuffisante, car les expériences montrent que la répulsion ou l'attraction se produit seulement lorsque les faisceaux se pénètrent.

M. Deslandres a montré de plus que la déviation n'est pas la même pour tous les rayons du faisceau, ce qui permet de séparer des rayons simples, correspondant à des oscillations électriques simples [1].

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 115, avril 1897.
(2) *Wied. Ann.*, t. XL, p. 237.

7. *Surfaces d'interférence de M. Jaumann.* — Lorsqu'un tube présente deux cathodes voisines, ou une seule cathode qui est concave, ou bien a un angle rentrant, les deux couches de lueur négative peuvent se couper et leur éclat est particulièrement grand là où elles se coupent. M. Jaumann considère ces surfaces brillantes comme les surfaces d'interférence des rayons cathodiques et conclut de leur étude à la longueur d'onde de ces rayons. Les expériences ont été répétées par E. Wiedemann et Schmidt, mais sans succès et ces physiciens rejettent les conclusions de M. Jaumann. (Voir pour le détail, *L'Écl. Élect.*, t. XII, p. 186.)

VI. Énergie mise en jeu dans la décharge. Considérations théoriques.

1. *Énergie nécessaire à la luminescence.* — L'éclat de la lumière émise par le gaz luminescent est comparable à celui d'une flamme de Bunsen renfermant de la vapeur de sodium. En effectuant cette comparaison à l'œil nu (il s'agit seulement ici de connaître l'ordre de grandeur et une expérience grossière suffit), on peut estimer que l'émission lumineuse du gaz est environ 1/10 de celle de la flamme de sodium. Il ne faut pas perdre de vue, dans cette comparaison, que la flamme émet la lumière d'une façon constante, tandis que le gaz ne luit que par intervalles, comme on peut s'en assurer en observant la décharge dans un miroir tournant.

Un gramme de sodium rayonne pendant une seconde $3{,}2\ 10^3$ gr.cal ou $1.3.10^{11}$ ergs. La vapeur de sodium possède une densité qui est environ les 0,8 de celle de l'air dans les mêmes conditions de température et de pression. Si la pression dans le tube luminescent

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XI. p. 464 et 598, 29 mai et 19 juin 1897.

est par exemple de 1/1000 d'atmosphère, 1 cm^3 de vapeur de sodium, à la température ordinaire, pèserait $1,04\ 10^{-6}$ gr. Ce sont à peu près les conditions dans lesquelles se trouve le gaz luminescent ; 1 cm^3 de vapeur de sodium émet donc alors $1,04.10^{-6} \times 1,3.10^{11} = 1.35.10^5$ ergs par seconde. Pendant une demi-oscillation dont la durée est en chiffres ronds 10^{-8} seconde, cette émission serait $1.35\ 10^{-3}$ ergs. Puisque l'émission du gaz est au moins 1/10 de celle de la flamme, le gaz luminescent doit, pendant la durée d'une demi-oscillation, émettre au moins $1,35.10^{-4}$ ergs par cm^3.

D'autre part, nous pouvons calculer aussi d'une manière approximative la quantité d'énergie qui entre dans chaque cm^3 du champ pendant une demi-oscillation. Des oscillations relativement petites du potentiel suffisent à provoquer la luminescence. Ainsi, dans l'une des expériences de Wiedemann et Ebert, un tube de 8 cm de long et de 5 cm de diamètre, dans lequel la pression de l'air était réduite à 2 mm, devenait encore luminescent entre les armatures circulaires (10 cm de rayon) d'un condensateur de Lecher, quand ces armatures étaient écartées à 45 cm. La différence de potentiel maxima V entre ces armatures était d'environ 4 unités électrostatiques soit 1 200 volts.

Prenons pour la capacité la valeur calculée par la formule de l'électrostatique, quoique cette valeur soit un peu plus petite que la capacité réelle pour les charges alternatives rapides. La surface des armatures étant 314 cm^2, leur distance 45 cm, nous aurons $C = \frac{314}{4 \times 3,14 \times 45} = 0,55$. L'énergie totale contenue dans le volume que comprennent les armatures, soit $314 \times 45 = 14000$ cm^3 en nombre rond, est donc égale à :

$$\frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 0,55 \times 4^2 = 4,4$$

ou bien par cm^3 : $4,4 : 14\ 000 = 0,00035$ ergs environ.

Une faible partie seulement de cette énergie est employée à mettre les molécules en mouvement, car la présence du gaz luminescent n'influe pas d'une manière appréciable sur l'amortissement des oscillations. La plus grande portion sert donc à produire la luminescence du gaz et la valeur ci-dessus n'est qu'une limite supérieure de l'énergie ainsi dépensée. Cette quantité d'énergie est du même ordre de grandeur que la quantité d'énergie rayonnée par le gaz, que nous avons évaluée ci-dessus.

Le gaz luminescent transforme donc d'une manière continue l'énergie électrique en vue d'une autre espèce d'énergie, en radiations : à cet égard, le gaz luminescent est analogue aux conducteurs, qui transforment aussi l'énergie électrique du champ en chaleur : en ce sens, on a le droit de parler de la conductibilité du gaz luminescent.

2. *Explication des phénomènes de décharge par la considération des tubes de force.* — La considération des tubes de force et des migrations d'énergie (théorie de Maxwell et de Poynting) permet de grouper d'une manière très élégante les phénomènes observés dans les décharges à travers les gaz, spécialement dans le cas où le tube est placé entre les armatures du condensateur de Lecher : ce cas est d'ailleurs théoriquement le plus intéressant, parce que les conditions expérimentales sont nettement définies.

Lorsque le condensateur est chargé, les tubes de force qui vont d'une armature à l'autre tendent à se raccourcir, et d'autre part à s'élargir. Il en résulte dans le diélectrique une tension tangentielle et une pression normale aux tubes de force. L'équilibre se produit dans une direction donnée, quand les composantes suivant cette direction de la pression et de la tension se compensent. La pression p par unité de surface, a pour valeur

$$p = \frac{1}{8\pi} F^2$$

F étant l'intensité du champ au point considéré. Par exemple, dans le cas que nous avons traité au paragraphe précédent, l'inten-

sité du champ était 4 : 45 soit environ 0,1 unité électrostatique : il en résulte pour la pression p la valeur : $\frac{1}{8\pi} 10^{-2} = 4.10^{-4} \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2}$. Il est à remarquer que, d'après l'expression de p, cette pression est égale à la quantité d'énergie contenue dans l'unité de volume, autour du point considéré, que nous avons calculée ; les deux nombres que nous avons trouvés, sont du même ordre de grandeur comme cela doit être. Remarquons en passant que cette pression est de 10^4 à 10^5 fois plus petite que la pression du gaz restant dans les tubes.

On peut se représenter comme il suit le jeu des oscillations. Lorsque les armatures ont pris leur différence de potentiel maxima, les tubes de force sont tendus entre elles, dans l'espace intermédiaire pour la plus grande partie, quand les plaques sont rapprochées, mais s'éloignant de plus en plus de l'intérieur du condensateur quand la distance des plaques augmente. Aussitôt que la différence de potentiel a atteint son maximum, les tubes de force s'élargissent et se poussent en dehors du condensateur ; il se produit un courant qui transforme une partie de l'énergie du diélectrique en énergie électromagnétique ; si la différence de potentiel s'annule, cette transformation est complète. Une partie de l'énergie est perdue sous forme de chaleur ou de rayonnement électromagnétique ; mais cette perte est insignifiante comme l'atteste la faible valeur de l'amortissement. La plus grande partie des tubes de force revient vers le condensateur après s'être réfléchie sur le pont, mais les extrémités ont changé de signe ; le phénomène se reproduit avec cette seule différence, et ainsi de suite des milliers de fois avant que l'énergie ne soit épuisée. Il en résulte, dans le gaz placé entre les armatures des oscillations de l'énergie qui provoquent la luminescence lorsque leur amplitude est suffisante.

Lorsque le gaz est devenu luminescent, il en résulte aussitôt, comme nous l'avons vu, une modification dans la répartition de l'énergie : les tubes de force sont comme attirés par le gaz luminescent et se pressent normalement à leur direction pour entrer dans le gaz et réparer la perte d'énergie provoquée par le rayonnement ; d'autre part, les lignes de force s'attachent aux charges atomiques des molécules dissociées dans le gaz et leur énergie est transportée dans les régions du gaz les plus éloignées. D'après les nombres que nous avons cités, le rayonnement lumineux du gaz est suffisant pour expliquer la perte d'énergie et la diminution de pression dans les tubes de force, ainsi que l'attraction de ces tubes par le gaz.

Les figures 6 et 7 représentent la répartition des lignes de force quand le gaz renfermé dans le tube reste obscur (fig. 6)

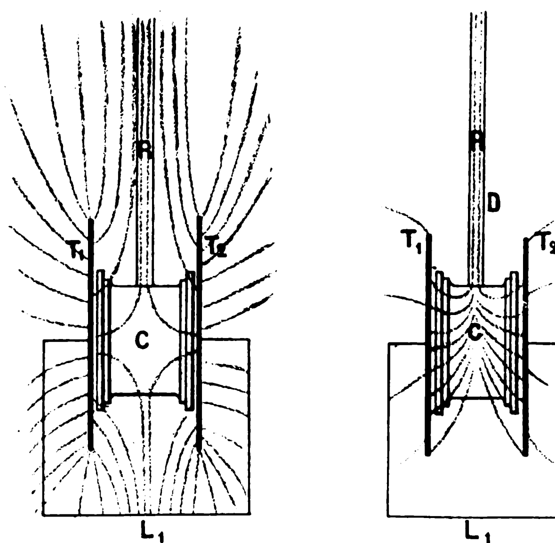


Fig. 6 et 7.

et quand il est luminescent (fig. 7). Ces lignes de force sont concentrées, dans le second cas, dans le tube latéral R. Par suite de cette attraction, on réussit même à faire luire un gaz dans une enceinte métallique presque fermée : pour réaliser cette expérience, on place une petite sphère de verre, vide d'air, entre les armatures du condensateur de Lecher et on l'entoure de clinquant en ne laissant qu'une très petite ouverture. Très peu de lignes de force pénètrent dans l'intérieur de cette gaine métallique et le gaz reste

obscur dans la sphère. Mais, si on fait passer par l'ouverture un fil métallique relié au sol, sans qu'il touche les bords de cette ouverture, la sphère devient luminescente dès que le fil se trouve en contact avec sa paroi. Un certain nombre de lignes de force ont suivi le fil et leur énergie a suffi à provoquer la luminescence d'une petite portion du gaz; ensuite le gaz luminescent a soutiré de plus en plus d'énergie du champ, et enfin les lignes de force se concentrent vers la sphère comme elles le feraient vers une sphère conductrice.

L'expérience suivante est encore plus frappante. Une sphère K, placée entre les armatures du condensateur, est réunie par un tube assez étroit R à un autre tube plus large V. Le condensateur est complètement entouré de clinquant, sauf une fenêtre FF garnie de toile métallique fine. Dans ces conditions tous les tubes de force se dirigent d'abord vers l'extérieur. Mais dès que le gaz a commencé à luire dans le tube V, les tubes se concentrent et pénètrent dans la sphère K qui devient aussi luminescente, sauf dans sa partie supérieure. Les lignes suivant lesquelles la luminescence se produit, suivent la marche indiquée sur la figure 7. Si on relie au sol un point du tube R, situé vers D par exemple, la sphère s'éteint, dès que la région obscure s'est formée en D et a interrompu les lignes lumineuses.

3. — *Les phénomènes cathodiques correspondent à des mouvements stationnaires.* — Les phénomènes cathodiques apparaissent sur toute la paroi qui coupe un espace renfermant un gaz raréfié et traversé par des oscillations électriques, si la paroi est normale à la direction des lignes de force. Ils apparaissent, comme nous l'avons dit, symétriquement, des deux côtés du condensateur par exemple. En réalité, à chaque extrémité de l'espace vide, se produisent alternativement les phénomènes anodiques et les phénomènes cathodiques; mais ceux-ci s'amortissent beaucoup moins rapidement que les premiers. Par suite, les mouvements provoqués par une demi-oscillation subsistent encore quand la suivante se produit, au moins au voisinage des extrémités; les effets dus aux oscillations successives se superposent, tandis que les mouvements dus aux phénomènes anodiques ne peuvent arriver jusqu'aux armatures: aussi ces derniers n'apparaissent que dans les régions du gaz éloignées des extrémités.

Les phénomènes cathodiques représentent donc des mouvements stationnaires de période relativement longue, qui prennent naissance au voisinage des électrodes ou des armatures; comme les apparences lumineuses se décomposent en couches diverses dans le sens normal à la longueur du tube et par conséquent aux lignes de force, il faut en conclure qu'elles sont en relation avec des phénomènes qui se produisent dans le même sens.

Il faut donc croire que les phénomènes cathodiques sont produits par des mouvements perpendiculaires à la cathode. La question reste à résoudre, de savoir si les rayons cathodiques eux-mêmes correspondent à des mouvements longitudinaux.

Cette manière de voir a été développée récemment par M. Jaumann, dont les conclusions théoriques ont été combattues par M. Poincaré [1].

E. Wiedemann et Ebert ont montré (*Wied. Ann.*, L., p. 34) que la décharge elle-même est précédée à la cathode par des phénomènes qui sont sensibles à l'action de l'aimant. En effet, en plaçant la cathode entre les pôles d'un électro-aimant on peut empêcher la décharge de passer, si la pression est convenablement réglée. Dès qu'on supprime le champ magnétique, la décharge commence. Ces phénomènes précédant la décharge ont été étudiés récemment par Warburg [2].

4. — *Énergie des rayons cathodiques.* — L'énergie transportée par les rayons catho-

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 242, 289.
(2) *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 472.

diques peut être déterminée en plongeant la portion du tube qui fait face à la cathode dans un calorimètre. Dans un tube où la pression était de 0,0038 à 0,0014 cm de mercure, soit 50 à 18 dynes cm², Wiedemann et Ebert ont trouvé 5×10^{-2} gr cal. ou environ $2{,}10^6$ ergs par seconde. Les images des décharges (343 par seconde) étaient nettement séparées dans le miroir tournant : chaque décharge durait donc au plus 1/1000 de l'intervalle compris entre deux décharges successives. Par conséquent, si l'émission des rayons était continue, leur énergie calorifique serait d'environ 50 gr cal. par seconde et si on tient compte de la section du faisceau $5{,}10^3$ gr cal. par seconde et par cm². Dans les mêmes conditions l'énergie totale de la décharge était voisine de 0,98 gr cal., c'est-à-dire environ 20 fois plus grande.

On peut encore comparer l'énergie des rayons cathodiques à celle des rayons solaires. L'effet thermique du rayonnement solaire sur une surface d'un centimètre carré placée normalement à sa direction est, à la surface de la terre, égal à 0,035 gr cal. environ. Par conséquent, l'énergie intrinsèque des rayons cathodiques est environ $1{,}4.10^5$ plus grande que celle des rayons solaires les plus brillants et l'amplitude de leurs oscillations $\sqrt{1.4.10^5}$ ou en chiffres ronds 370 fois plus grande que celle de ces derniers en admettant que la période d'oscillation soit la même. D'après Grætz, l'amplitude de vibration des rayons solaires est

$$a_s \geqq 6.\,10^{-10} \text{ cm.}$$

donc celle des rayons cathodiques sera :

$$a_c \geqq 10^{-7} \text{ cm.}$$

Dans les corps solides et liquides, la distance des molécules et leurs dimensions sont inférieures à 10^{-8} cm. L'amplitude des rayons cathodiques est donc beaucoup plus grande et celle des rayons solaires beaucoup plus petite que les dimensions moléculaires. Par conséquent, les lois d'absorption doivent être différentes pour les deux : c'est en effet ce qui arrive (voir ci-dessus). La pression p, qui suivant la théorie de Maxwell s'exerce dans la direction de propagation des ondes, est égale à l'énergie contenue dans un centimètre cube ; à la surface du soleil, elle est d'environ 5.10^{-5} dynes cm² : à la surface de la cathode, elle sera, comme l'énergie, $1{,}4{,}10^5$ fois plus grande, soit 7 dynes cm² : c'est-à-dire du même ordre de grandeur que la pression du gaz.

Les rayons cathodiques ne se développeront nettement dans un tube raréfié que si la pression qu'ils exercent à la surface antérieure de la cathode est devenue du même ordre de grandeur que celle du gaz ; si leur énergie correspond à une pression moindre, ils ne pourront sortir de la cathode ; on s'explique ainsi que la présence des étincelles dans le circuit favorise le production de ces rayons.

Phosphorescence produite par les rayons cathodiques. — Comme nous avons eu déjà l'occasion de le signaler, les rayons cathodiques provoquent la phosphorescence du verre. Cet effet n'est d'ailleurs pas particulier au verre, et l'action des rayons cathodiques rend phosphorescentes un très grand nombre de substances organiques ou inorganiques. Ces phénomènes ont été observés depuis longtemps : mais il y a quelques années seulement qu'une étude systématique en a été faite par E. Wiedemann et Schmidt qui ont éprouvé un nombre considérable de substances diverses, pures ou mélangées. Il nous entraînerait beaucoup trop loin d'entrer dans le détail de ces expériences très circonstanciées, nous nous contenterons d'en donner les principaux résultats.

Il y a lieu de distinguer entre les phénomènes de phosphorescence qui résultent d'une modification physique et ceux qui résultent d'une transformation chimique des substances. Il est d'autant plus nécessaire de distinguer ces deux cas que lorsqu'il s'agit d'une transformation chimique ou d'une « *chimiluminescence* », les considérations

théoriques de Lommel, de Jaumann, etc., ne sont pas applicables et il n'existe aucun rapport expérimental d'une généralité absolue entre les longueurs d'onde de la radiation excitatrice et celle de la radiation excitée. Dans un grand nombre, cette distinction est possible, grâce à certains critériums, qui donnent sinon une certitude absolue, au moins une grande probabilité. Ce sont :

1° La manière dont la luminescence décroît quand l'excitation a cessé : une luminescence résiduelle prolongée correspond très vraisemblablement à une chimiluminescence ;

2° Si l'intensité de la lumière émise par la même substance, lorsque l'excitation a cessé depuis le même temps, est la même dans une série d'expériences, mais que la manière dont elle varie avec le temps dépende de la durée d'excitation et des autres circonstances, c'est que la substance a subi des transformations et produit la luminescence en revenant à son état primitif;

3° La *thermoluminescence*, c'est-à-dire la propriété que la substance irradiée a acquise de devenir luminescente sous l'action de la chaleur, à une température inférieure à celle de l'incandescence, trahit également la chimiluminescence : mais la réciproque n'est pas vraie, en ce sens qu'il n'est pas toujours possible de constater la thermoluminescence alors même que des transformations chimiques se sont produites : c'est ce qui arrivera par exemple dans les deux cas extrêmes, où la substance transformée reprend très rapidement son état primitif et où la transformation subsiste ;

4° Les substances irradiées développent aussi parfois une luminescence, quand on les dissout, alors qu'elles ne le font pas sans avoir été irradiées (*lyoluminescence*) ;

5° Il arrive fréquemment aussi que les transformations chimiques s'accusent par un changement de couleur ; ces changements peuvent ensuite disparaître d'eux-mêmes ou bien sous l'action de la chaleur avec luminescence ;

6° Les corps irradiés peuvent devenir luminescents quand on les écrase ou les brise ; cette *triboluminescence* est encore un indice des transformations chimiques ;

7° Enfin le rapport entre l'intensité de la radiation excitatrice et de la radiation excitée est susceptible aussi de déceler la chimiluminescence. Les deux intensités sont proportionnelles entre elles tant que la quantité de matière sur laquelle porte la transformation est petite vis-à-vis de la quantité totale. Autrement, quand l'intensité de la radiation excitatrice augmente, celle de la radiation excitée tend vers un maximum.

Nous reproduisons ici le résumé des expériences de Wiedemann et Schmidt, emprunté au mémoire même de ces auteurs.

Corps solides. — Un grand nombre de corps inorganiques montrent une cathodoluminescence très intense et aussi, pour une grande part, une thermoluminescence.

Certains de ces corps éprouvent une décomposition visible : les autres, non.

En général, la couleur de la luminescence est la même pour les sels d'un même métal : le radical acide influe seulement sur l'intensité. Que certains sels d'un métal deviennent luminescents et d'autres non, il faut l'attribuer à l'influence du radical acide.

La cathodoluminescence et la thermoluminescence sont particulièrement éclatantes chez une série de corps solides qui renferment une trace d'un autre corps, distribué d'une manière homogène dans la masse, (dissolutions solides) : une trace de sulfate de manganèse, par exemple, communique à beaucoup d'autres sulfates des propriétés luminescentes très accusées, comme l'a déjà montré Lecoq de Boisbaudran [1]. Ces dissolutions solides luminescentes sont très nombreuses, et il est à remarquer que la couleur

(1) Cet article était écrit lorsqu'a paru dans la *Revue générale des Sciences*, 15 et 30 août 1897, la réclamation de priorité de M. Lecoq de Boisbaudran, à laquelle a fait droit M. Guillaume. M. E. Wiedemann a donc rendu justice à M. de Boisbaudran avant même cette réclamation.

de la luminescence dépend essentiellement du dissolvant, c'est-à-dire du corps qui se trouve dans les plus grandes proportions.

Lorsque les corps ont été chauffés avant d'être irradiés, cette circonstance agit de deux manières : la substance devient en général plus dense (comme le sulfate de strontium), ou se transforme en une autre variété, ou bien elle peut éprouver des modifications chimiques. Dans les deux cas, la couleur de la luminescence peut être totalement changée par le chauffage. Plus une substance a été chauffée lors de sa préparation, plus longtemps elle demeure luminescente après avoir été irradiée : cette règle est sans exception.

L'éclat de la luminescence des dissolutions solides varie peu avec la concentration.

En ce qui concerne l'influence de la température du corps luminescent lui-même, on trouve que :

1° La luminescence provoquée par des rayons cathodiques intenses subsiste depuis — 80° jusqu'à + 500° ;

2° Elle est plus intense aux températures basses qu'aux températures élevées ;

3° La luminescence résiduelle disparaît aux températures élevées et dure plus longtemps à — 80° qu'à 0° ;

4° La couleur souvent change, de manière qu'aux radiations émises à basse température se joignent des radiations plus réfrangibles lorsque la température s'élève ; la température agit donc ici dans le même sens où elle agit sur l'émission d'un corps incandescent.

Les rayons cathodiques exercent la même action quel que soit le gaz dans lequel ils ont pris naissance.

L'addition d'une substance à une autre augmente ou diminue la luminescence : les dissolutions solides citées plus haut sont un exemple du premier cas ; au contraire, beaucoup d'autres substances sont d'autant plus luminescentes qu'elles sont plus pures. Les sulfates de cuivre, de nickel, le sulfate ferreux provoquent en général une diminution particulièrement énergique.

La luminescence d'une dissolution solide de sulfate de manganèse dans le sulfate de calcium augmente quand on ajoute du sulfate de zinc ; tandis que l'addition du sulfate de nickel et de beaucoup d'autres substances aux dissolutions solides, diminue ou même anéantit la luminescence.

Les substances ajoutées ont peu d'influence sur la couleur émise, mais peuvent diminuer fortement ou faire disparaître la luminescence résiduelle.

Le spectre de la lumière émise par les corps luminescents est toujours continu et formé de bandes dont la position change avec la nature de la substance.

Les modifications provoquées par les rayons cathodiques peuvent subsister des mois durant dans certains corps, quelques heures seulement dans les autres ; d'une manière générale, elles rétrogradent avec le temps.

La cathodoluminescence est un phénomène plus général et est plus intense que la *photoluminescence*, provoquée par la lumière solaire, principalement par la partie la plus réfrangible du spectre ; la couleur est presque toujours la même dans les deux cas. Le mélange sulfate de zinc, sulfate de manganèse et sulfate de sodium fait exception à cette règle. La luminescence résiduelle est toujours de très courte durée après la photoluminescence, à peine dure-t-elle une seconde : de tous les corps observés aucun n'a présenté de thermoluminescence après avoir été exposé à la lumière solaire. La règle de Stokes se vérifie dans le cas des dissolutions solides. Parmi les composés organiques, il s'en trouve aussi beaucoup qui présentent la cathodoluminescence ; la luminescence résiduelle est en général faible et de courte durée. Plusieurs substances jouissent de cette propriété sous l'état gazeux, sous l'état liquide et sous l'état solide. En général la substance gazeuse et la substance liquide présentent des luminescences de même teinte, tandis que la substance solide émet une teinte différente. Si la couleur est la même pour les trois états, il est vraisemblable que dans les trois cas, la lumière est émise par le même complexe.

VII. Spectres des vapeurs métalliques électroluminescentes (¹).

L'étude du spectre émis par les vapeurs métalliques électroluminescents permet dans certains cas de décider si les différences observées dans le spectre d'un même corps dépendent seulement de la température ou du mode d'excitation. Supposons, par exemple, qu'un tube à décharges se compose d'une partie large et d'une partie étroite, réunies par une pièce conique. L'excitation sera, en général, pareille dans les deux parties du tube, à cela près qu'elle sera plus intense dans la partie étroite. Si les deux régions du tube montrent un spectre de lignes et si le spectre de la partie étroite renferme des lignes qui n'apparaissent pas dans l'autre, cela signifie que l'intensité de l'excitation joue le rôle essentiel et non la forme de cette excitation. Lorsqu'en plus du spectre de lignes on observe dans les deux régions des types de spectre essentiellement différents, ces différences peuvent provenir ou bien d'une forme différente d'excitation, ou bien de modifications dans la construction des molécules.

Pour répartir les lignes spectrales en groupes, il est tout indiqué d'étudier d'une manière systématique les lignes qui apparaissent dans le spectre des régions du tube qui ont des diamètres différents, car il est vraisemblable que les lignes qui apparaissent lors d'une forte excitation se disposent comme les harmoniques supérieurs des lignes déjà existantes lors d'une excitation plus faible. Il est également utile de comparer les spectres des diverses régions de la décharge (²).

Des modifications dans la construction de la molécule se produisent sûrement dans les gaz polyatomiques, dont les molécules se décomposent en partie dans les régions étroites du tube par suite de l'afflux considérable d'énergie; là les atomes sont luminescents ; dans les parties larges, au contraire, les molécules ne sont pas décomposées.

Même dans les gaz monoatomiques, on peut imaginer que l'énergie apportée par chaque décharge modifie l'éther ou la charge atomique, de manière qu'au bout d'un certain temps les mouvements résultant de la décharge soient tout autres qu'au début.

L'élévation de température est toujours très faible et nous n'avons pas à en tenir compte. Une modification dans la construction de la molécule est évidente, si le spectre change de caractère quand l'excitation change ou quand on passe dans le tube d'une région à une autre de diamètre différent; par exemple, ce qui est le cas le plus frappant, si la région large montre un spectre de bandes et la région étroite un spectre de lignes.

Parmi les types de spectres observés, il faut signaler :

1° Spectres continus de bandes, sans maximum ni minimum, indépendamment de tout spectre de lignes. On les observe avec le mercure (vert), le sodium (vert), le potassium (rouge), qui sont des vapeurs monoatomiques; avec la plupart des vapeurs organiques on a des bandes continues aussi, mais en plusieurs régions du spectre. La luminescence correspond alors à des vibrations forcées.

2° Spectres de bandes continus, mais avec des maxima et des minima relativement larges; des corps qui présentent une parenté chimique étroite ont les uns des maxima et des minima, les autres point; par exemple, l'iodure de cadmium a dans le rouge un minimum très accusé; le bromure et le chlorure n'en ont aucun. Le chlorure de plomb présente de nombreux maxima et minima; l'iodure et le bromure, aucun, etc.

3° Spectres à bandes cannelées : ils appartiennent vraisemblablement aux molécules.

4° Spectres de lignes; ils apparaissent toujours quand l'excitation est relativement forte : ils semblent appartenir aux atomes.

(¹) E. Wiedemann et Schmidt. *Sitzungsber. der physik med. Societæt zu Erlangen*, 12 novembre 1895.

(²) Wiedemann et Schmidt. *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 454. *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 278.

VIII. Rayons de Rœntgen. Rayons de décharge.

Les décharges dans les gaz donnent encore naissance, outre les rayons cathodiques, à deux autres espèces de rayons, les rayons de Rœntgen et les rayons de décharge.

Sur les rayons de Rœntgen ont été effectués, depuis leur découverte, un très grand nombre de travaux, dont il a été rendu compte en détail dans *L'Éclairage Électrique*.

Quant aux rayons de décharge, découverts par E. Wiedemann, ils ont fait l'objet d'une étude spéciale de Hoffmann (1), dont les expériences ont été répétées par M. Borgman (2). Ces deux mémoires ont été analysés récemment dans ce même journal, auquel je renverrai le lecteur.

M. Lamotte.

LA TÉLÉGRAPHIE (3)

TÉLÉGRAPHIE CHIMIQUE DE DELANY

L'accélération de la transmission télégraphique, ayant pour conséquence une utilisation plus rationnelle des lignes, continue à préoccuper les spécialistes. On sait que la transmission automatique à l'aide de bandes perforées est la base de ceux d'entre les appareils rapides qui échangent des signaux Morse. Avec l'appareil automatique Wheatstone du dernier modèle, on a pu atteindre une vitesse de transmission de 600 mots à la minute. Mais cette vitesse n'est obtenue qu'exceptionnellement et dans la pratique journalière il ne faut guère compter sur une vitesse supérieure à 125 mots par minute pour le Wheatstone simple et 200 mots dans la transmission en duplex.

L'obstacle qui intervient dès que le nombre d'impulsions de courant transmises par unité de temps devient considérable, c'est la ligne. Pour une force électromotrice donnée, elle abaisse l'intensité des impulsions de courant à mesure que leur fréquence augmente. Or, l'appareil récepteur exige pour son fonctionnement un certain minimum d'intensité de courant. La vitesse de la transmission est donc limitée à la fréquence des variations de courant qui permet encore d'atteindre ce minimum nécessaire. Une augmentation de cette fréquence entraîne nécessairement un affaiblissement ; comme toujours, ce que l'on gagne en vitesse on le perd en intensité.

Il en résulte que le progrès de la télégraphie automatique rapide est lié à l'emploi d'appareils récepteurs capables de fonctionner avec des courants ou plutôt avec des puissances très faibles, car la considération de la puissance rend immédiatement compte de la nécessité de diminuer l'inertie du récepteur.

Dans cette voie, un des principes les plus anciennement mis en avant et peut-être le moins apprécié à son mérite est celui dont Bain a essayé l'application dans son télégraphe électrochimique de 1850. L'inscription des signaux par l'action du courant sur un sel donnant par électrolyse un produit coloré est un procédé qui se recommande autant par sa simplicité que par son extrême rapidité. Il suffit d'une quantité d'électricité infime ou, dans un temps donné, d'un courant extrêmement faible pour produire une trace visible sur une bande de papier.

L'un des plus récents exemples d'application de ce principe est réalisé dans l'appareil Goodspeed et Foote. On sait que dans cet appareil qui est d'une très grande simplicité, la bande perforée passe à la station de départ

(1) *Wied. Ann.*, LX, p. 269. *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 326.

(2) *C. R.* CXXIV, p. 895.

(3) Voir *L'Éclairage Électrique* du 27 novembre, p. 385.

sur la circonférence d'une poulie formée de deux disques métalliques accolés l'un à l'autre avec interposition d'un disque isolant. Deux balais placés sur la même ligne transversale appuient sur la bande. Selon que l'un ou l'autre des balais rencontre un trou et touche la tranche du disque au-dessus duquel il est placé, un courant positif ou négatif est émis sur la ligne. Au poste de réception, deux stylets occupent par rapport à une bande imprégnée d'un sel de fer la même position que les balais par rapport à la bande perforée. L'un des stylets est relié à la ligne, l'autre à la terre. Selon le sens du courant de réception, l'un ou l'autre stylet devient anode et produit par électrolyse une trace colorée. Une seule trace représente un point, deux traces consécutives sur la même ligne dans le sens de la longueur de la bande forment un trait. L'inversion du courant ne sert que pour produire les signaux alternativement sur deux lignes.

L'inversion de courant qui est d'ailleurs avantageuse pour la rapidité de la transmission, peut être mieux utilisée ; on peut s'en servir précisément pour différencier le trait du point ; on gagne à cela l'avantage ne n'employer pour chaque signal qu'une seule émission toujours d'égale durée. C'est la méthode adoptée par P. Delany pour son récepteur chimique. Il emploie trois stylets placés sur la même ligne transversale et relie les deux extérieurs ensemble et à la ligne et celui du milieu à la terre. La bande transmettrice est perforée de manière à ce que pour un trait un courant positif soit émis et pour le point un courant négatif. Le trait s'inscrira donc sous forme de deux points situés sur une même ligne transversale de la bande et le point sera représenté par un point placé sur la ligne médiane. Les signaux sont ainsi très lisibles et peuvent être traduits très rapidement.

On a signalé ici les dispositifs pratiques imaginés par M. Delany pour son système de télégraphie automatique [1]. Dans ses appareils les plus récents, cet inventeur a surtont cherché à simplifier. Au lieu de faire passer la bande perforée sur un tambour avec une paire de balais appuyant sur la face extérieure, on la fait glisser entre deux paires de balais appliqués sur les deux faces ; de cette manière, lorsqu'un trou se présente les deux balais qui se font face y pénètrent et viennent en contact. Le frottement des bords des trous maintient la surface de contact des balais en bon état et empèche toute accumulation de poussière ; de plus, l'interposition du papier, dès que le contact est rompu, évite toute formation d'étincelles. On peut obtenir avec ce dispositif, sans détériorer la bande de papier, jusqu'à 5000 contacts par seconde ; en fait, avec une force électromotrice de 110 volts on a enregistré 2600 signaux par seconde, soit 8000 mots par minute, sur un circuit artificiel de 200 ohms et 3 microfarads. Pour la répétition d'une dépêche sur différentes lignes, la bande peut servir une centaine de fois sans inconvénient.

Quant au récepteur, il est très simple, ne comprenant, outre les organes d'inscription représentés par trois fils d'acier, que le mouvement d'entraînement de la bande. Les signaux étant très lisibles un dactylographe peut traduire à la machine 30 à 40 mots à la minute, vitesse égale à celle employée à la perforation de la bande transmettrice. On voit donc que le personnel est moins nombreux que pour la transmission par le Morse ordinaire

SYNCHRONOGRAPHE CREHORE ET SQUIER

L'appareil télégraphique dénommé synchronographe par ses inventeurs rentre dans la catégorie des appareils automatiques destinés à la télégraphie rapide. L'idée fondamentale en paraît assez heureuse : MM. B. Crehore et Squier emploient pour la transmission des signaux un courant alternatif sinusoïdal. On peut, en effet, admettre qu'un courant variant comme une sinusoïde simple sera transmis par la ligne avec perte et déformation moin-

[1] Voir, entre autres, *L'Éclairage Électrique*, t. V. p. 215.

dres qu'un courant de forme moins régulière ou à période variable. Ce courant alternatif circule d'une façon continue dans la ligne ; pour transmettre un signal, on interrompt le circuit pendant une demi-période (point) ou pendant deux demi-périodes consécutives (trait). L'interruption du circuit est opérée au moment précis où le courant passe par zéro ; de cette manière on évite toute étincelle et toute variation sensible autre que l'annulation franche du courant.

Pour réaliser ce mode de fonctionnement, on ne peut naturellement faire usage d'une simple clef. Le transmetteur doit être constitué par un interrupteur synchronique. Une bande de papier, sur laquelle les signaux sont représentés par des perforations de longueur exactement égale à une ou deux demi-périodes, avec des intervalles égaux à une demi-période, est entraînée synchroniquement avec la génératrice des courants alternatifs ou avec un moteur synchrone. Les contacts et les interruptions opérés par un balai se produisent alors aux instants précis où le courant d'émission est nul.

Les signaux Morse ainsi transmis sont d'une absolue régularité; mais pour atteindre de grandes vitesses, il faut que leur enregistrement soit opéré par un récepteur très sensible et de très faible inertie. MM. Crehore et Squier ont fait des expériences avec le récepteur chimique de Delany dont nous venons de parler et qui présente les qualités requises pour un fonctionnement rapide; mais ils ont également appliqué au récepteur la méthode qui leur a déjà servi dans leur photochronographie pour la mesure de la vitesse des projectiles [1]. Un rayon lumineux passe dans un nicol polariseur, puis dans un tube rempli de sulfure de carbone et enfin dans un nicol analyseur. Le rayon polarisé par le premier nicol est éteint par le second nicol, dans une certaine position de ce dernier. Mais si l'on fait passer un courant dans un solénoïde enroulé autour du tube à sulfure de carbone, le rayon polarisé éprouve une certaine rotation de son plan de vibration et dès lors il n'est plus complètement éteint par le nicol analyseur. Une plaque photographique placée à la sortie de ce nicol sera donc impressionnée seulement chaque fois qu'un courant circulera dans le solénoïde et il n'y aura aucun retard entre le courant et l'apparition de la lumière. L'appareil ainsi disposé avec une plaque photographique animée d'un mouvement de translation ou de rotation rapide dans son plan constitue donc un récepteur télégraphique sans inertie.

Avec un courant alternatif, ce récepteur enregistre une succession de plages lumineuses séparées par de petits intervalles obscurs correspondant aux passages du courant par zéro; toute demi-onde manquante sera inscrite sous forme d'un intervalle obscur d'une largeur égale à celle des traces lumineuses. On peut disposer l'appareil de manière qu'il différencie les courants positifs des négatifs ; il suffit pour cela d'employer deux tubes et deux solénoïdes et de régler les analyseurs pour qu'en l'absence de courant ils laissent passer un peu de lumière, mais que l'extinction se produise pour l'un avec un courant d'un certain sens et pour l'autre avec le courant de sens opposé.

Avec un tel appareil, la rapidité de la transmission télégraphique ne dépend plus que des propriétés de la ligne, en admettant touefois que l'emploi et la manipulation de plaques photographiques ne soit pas une sérieuse objection pratique. A un courant de 140 périodes par seconde correspond une vitesse de transmission de 1 200 mots par minute ; cette vitesse a été atteinte par les inventeurs sur un circuit de 390 ohms, d'une self-induction de 1,03 henry et d'une capacité de 9,57 microfarads. La netteté de l'enregistrement dépend naturellement, à ces grandes vitesses, de la sensibilité des plaques photographiques; nous sommes convaincus que la méthode d'inscription chimique sera à ce point de vue d'un emploi plus pratique. MM. Crehore et Squier ont d'ailleurs égale-

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 173.

ment employé dans leurs expériences un récepteur chimique de Delany ; ils ont pu ainsi, sur un circuit de 10 900 ohms, transmettre des signaux très lisibles avec un courant alternatif de 545 périodes par seconde, ce qui correspond à une transmission d'environ 4 000 mots par minute.

C'est là un résultat remarquable, et il est certain que si des vitesses de cet ordre pouvaient être obtenues en service courant sur de longues lignes, un progrès considérable serait accompli. On a affirmé que le besoin de pareilles vitesses ne se faisait nullement sentir, mais cela ne tient-il pas précisément à ce que l'absence de moyens pratiques de les atteindre ne permet pas de réduire les taxes et d'amener ainsi une augmentation du trafic ? Là encore les progrès techniques créeront des besoins nouveaux.

A. Hess.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Voltmètre électrostatique Ayrton et Mather pour basses tensions.

Les voltmètres électrostatiques qui ne consomment pas d'énergie peuvent économiquement remplacer les instruments à fil chaud comme le Cardew, même lorsque leur prix d'achat est de beaucoup supérieur à celui de ce dernier. D'ailleurs, on peut donner aux électromètres, pour la pratique, une forme simple qui permet de les établir à un prix modéré. C'est ce que vient de faire un constructeur anglais, M. R.-W. Paul, avec un nouveau modèle de voltmètre électrostatique de MM. Ayrton et Mather [1].

La figure 1 donne la vue extérieure de cet instrument dont la figure 2 est une vue en plan. L'aiguille NN, en aluminium, est formée de plusieurs segments de cylindre ; elle est pivotée par des pointes très fines sur rubis et la force directrice est exercée par un ressort spiral très délicat (non représenté sur la figure) en métal non magnétique. Pour l'étalonnage, on peut faire varier la tension de ce ressort en agissant sur le levier A. L'aiguille porte un index en tube d'aluminium P dont la pointe recourbée se déplace devant l'échelle émaillée S. Toute la partie mobile est bien équilibrée afin d'éviter un réglage trop délicat pour la mise en place de l'instrument. Ces parties mobiles sont en outre entourées de plaques de garde reliées à l'aiguille afin de les soustraire aux actions électrostatiques extérieures. L'équipage entier pour l'instrument de 100 volts ne pèse que 1,3 gramme.

L'aiguille forme une des électrodes de l'instrument et l'inducteur I,I l'autre. Ce dernier est formé de segments de deux cylindres concentriques laissant entre eux un écart de 3 mm suffisant pour permettre les déplacements de l'aiguille sans danger de court circuit. Dans sa position de repos au zéro, l'aiguille est d'ailleurs, comme le montre la figure 2, complètement en dehors du système inducteur.

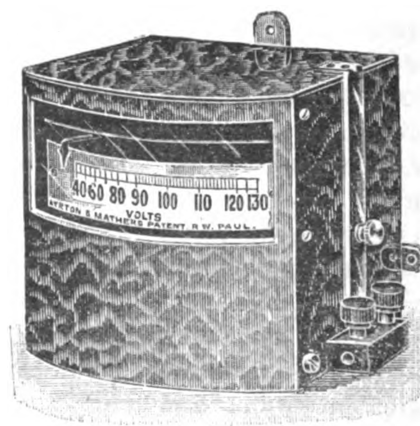


Fig. 1. — Voltmètre électrostatique Ayrton et Mather. Vue extérieure.

[1] *The Electrician*, 22 octobre 1897.

Entre les électrodes et les bornes de l'instrument sont placés des fusibles F, formés de fils très fins en alliage platine-argent enfermés dans des tubes de verre; pour assurer la rupture brusque, ces fils sont tendus par des ressorts D; les communications avec le circuit s'établissent par les bouchons métalli-

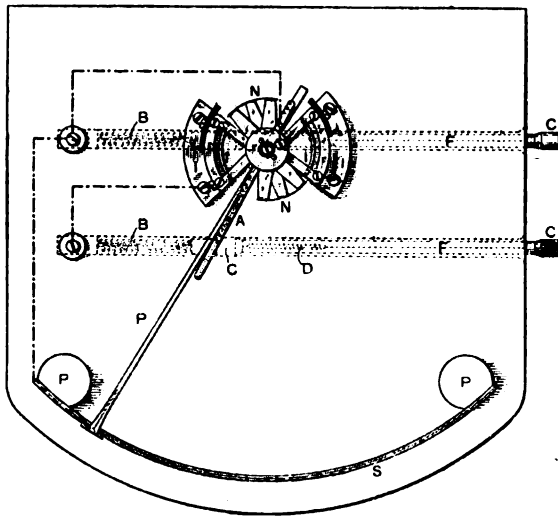


Fig. 2. — Voltmètre électrostatique Ayrton et Mather. Vue en plan.

ques C,C qui ferment les tubes de verre. Des ressorts B forment la connexion intérieure et servent en même temps à presser les extrémités des coupe-circuits contre les bornes extérieures logées dans une boîte en ébonite que l'on voit à la partie inférieure droite (fig. 1).

Malgré sa robustesse, l'instrument est très sensible et les déplacements de l'aiguille très rapides. Il n'occupe avec sa boîte qu'un encombrement de 15 cm dans les trois sens.

A. H.

Instruments enregistreurs Siemens et Halske.

L'enregistrement des indications d'un instrument sensible n'est pas sans présenter quelques difficultés, le couple dirigeant l'aiguille indicatrice étant souvent très faible et pouvant difficilement vaincre la résistance de frottement d'une plume ou même d'une molette sur le papier. D'autre part, l'enregistrement photographique, quoique simplifié dans certaines dispositions récentes [1], est un procédé de laboratoire, et serait peu pratique dans une station centrale par exemple.

Le système enregistreur adopté par la maison Siemens dans les instruments enregistreurs de toute nature (voltmètres, ampèremètres, etc.) qu'elle construit depuis quelque temps ne présente pas ces inconvénients.

Les figures 1 et 2 représentent schémati-

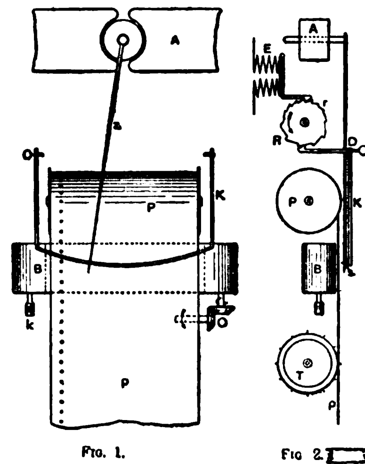


Fig. 1 et 2. — Instruments enregistreurs de Siemens et Halske. Schéma.

quement les parties essentielles de l'instrument. L'aiguille z de l'instrument de mesure A se meut librement au-dessus de la bande de papier *p* que la roue T mue par le mouvement d'horlogerie déroule du dévidoir P. Par le fonctionnement d'un électro-aimant E actionnant une roue à rochet *r* la roue d'échappement R sise sur le même arbre est déclenchée toutes les deux secondes; le levier qui repose sur cette roue tombe alors dans le creux d'une dent et permet au pont K mobile autour de D de frapper un coup sur l'aiguille, après quoi ce pont est immédiatement éloigné de l'aiguille qui redevient libre de ses mouvements.

L'aiguille porte une pointe mousse *s* qui en frappant sur le papier le met en contact avec un ruban encreur B qui imprime à l'envers

[1] *La Lumière Électrique*, t. LI, p. 127.

du papier un point. Le papier étant transparent, on peut à tout moment inspecter la courbe continue obtenue par cette succession de points très rapprochés. Pour éviter l'usure du ruban par l'action répétée de la pointe frappant en un même point, ce ruban est animé d'un mouvement de translation que lui

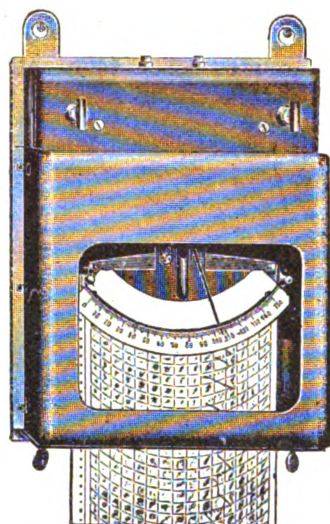


Fig. 3. — Galvanomètre enregistreur Siemens et Halske.

communique l'engrenage conique O. Lorsque le ruban est enroulé en entier sur le tambour de droite, on le ramène sur celui de gauche en tournant la molette *k*. Le déroulement du ruban encreur dure autant que le papier, c'est-à-dire huit jours.

Il est utile que le remplacement de la bande puisse se faire sans qu'il y ait possibilité de détériorer l'aiguille de l'instrument de mesure qui peut être un appareil très délicat. Dans ce but on a rendu mobile tout le mécanisme enregistreur que l'on peut retirer en entier de la boîte contenant l'ensemble sans toucher à l'appareil de mesure.

La figure 3 montre l'aspect extérieur du galvanomètre enregistreur universel. Il contient un millivolt ou ampèremètre de 1 ohm de résistance. A l'aide de résistances additionnelles ou de shunts convenables, on peut donc enregistrer avec cet instrument des tensions de 0,0001 volt à 1 500 volts et des courants de 0,0001 à 3 000 ampères. A. H.

Indicateur à distance à champ tournant ;

Par C. Arldt.

De nombreux appareils ont été imaginés dans lesquels l'électricité est appliquée pour transmettre à distance les indications d'un instrument de mesure ou les positions d'une aiguille sur un cadran ; le télégraphe Bréguet en est un exemple bien connu.

L'Allgemeine E.-G. de Berlin, dans un nouvel appareil indicateur à distance, vient de tirer parti des propriétés des courants triphasés. Le transmetteur envoie dans trois fils de ligne trois courants dont les intensités sont entre elles dans des rapports qui varient avec la position de la manette de l'appareil, exactement comme varient ces rapports dans les courants triphasés aux différentes phases de la période. Le récepteur crée à l'aide de ces trois courants des champs magnétiques qui se composent en un champ tournant.

Le transmetteur se compose d'une résistance *a* (fig. 1) fermée sur elle-même et d'une

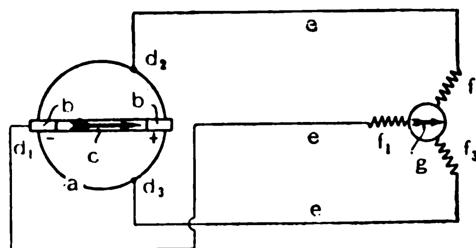


Fig. 1. — Indicateur à distance Arld. Schéma des communications.

manette *bb* qui lui amène en deux points diamétralement opposés le courant d'une source quelconque. Trois fils de ligne *eee* partent de trois points situés sur la résistance à 120° l'un de l'autre. Le récepteur se compose de trois électro-aimants faisant entre eux des angles de 120° et dans le champ résultant desquels se meut un aimant *g* muni d'un index. Il est facile de se rendre compte que la manette de contact en tournant fait varier les courants des fils de ligne de façon que le récepteur soit le siège d'un champ tournant occupant à chaque instant la même orientation que la

manette transmettrice. Il est à remarquer que si le voltage de la source d'alimentation varie, les intensités relatives dans les trois circuits ne sont pas modifiées ; le fonctionnement de l'appareil est donc indépendant de ces variations.

La figure 2 montre la disposition intérieure

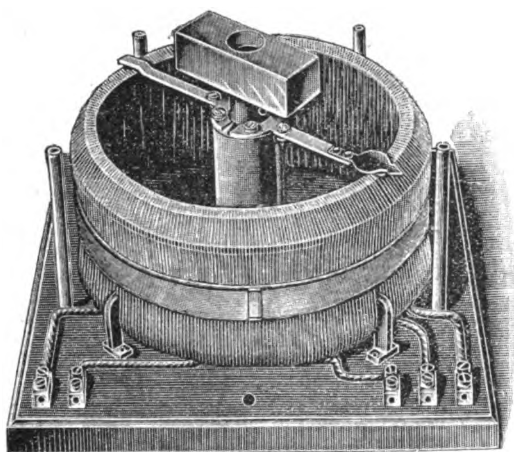


Fig. 2. — Transmetteur Arld.

du transmetteur ; le fil formant la résistance fermée sur elle-même est enroulé sur un tore sur le bord supérieur duquel frotte le levier de contact relié à la prise de courant. Les organes du récepteur (fig. 3) se compo-

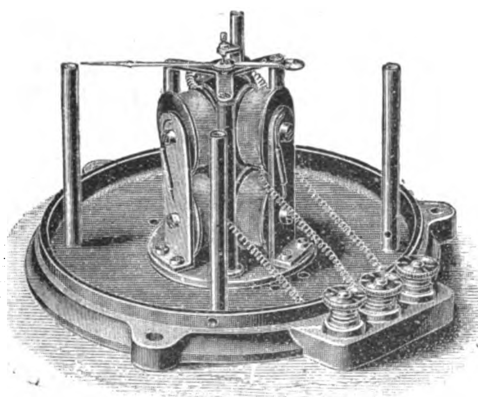


Fig. 3. — Récepteur Arld.

sent de trois électros doubles groupés autour d'un axe vertical qui porte l'aimant et l'aiguille indicatrice.

Les variantes d'application de ces appareils sont très nombreuses. Les figures 4 et 5 représentent par exemple l'appareil servant à indiquer à distance le niveau de l'eau dans un réservoir. Le levier de contact est solidaire d'une roue dentée sur laquelle s'enroule la chaîne du flotteur.

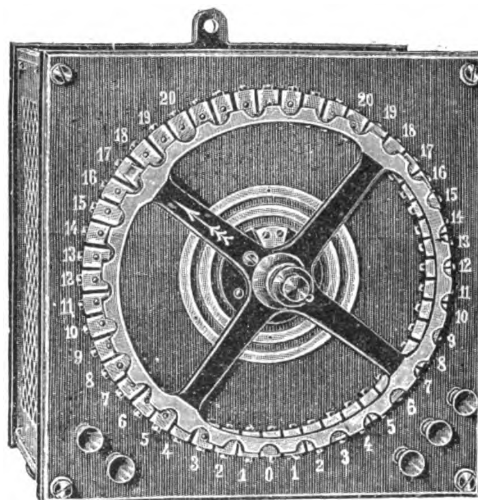


Fig. 4. — Transmetteur de l'indicateur de niveau d'eau.

Mais ces appareils sont surtout destinés à rendre des services à bord des navires pour



Fig. 5. — Récepteur de l'indicateur de niveau d'eau.

la transmission des ordres. Le nombre de signaux qu'ils peuvent transmettre est très considérable, et leur fonctionnement sûr, indépendant des variations de la source de courant, et ne nécessitant aucun réglage, est un avantage pratique sérieux.

A. H.

Détermination graphique de la chute de tension dans les transformateurs fonctionnant sur charge non inductive;

Par F. Bedell, R.-E. Chandler et R.-H. Sherwood (¹).

Dans cette note les auteurs se proposent de calculer la chute de tension d'un transformateur sur résistance non inductive, par un procédé analogue à celui employé pour mesurer le rendement d'un transformateur et consistant à mesurer séparément les pertes par hystérésis en faisant fonctionner l'appareil à vide, et les pertes dans le cuivre en mettant le secondaire en court-circuit et réglant le voltage primaire pour avoir l'intensité voulue dans le secondaire (²).

La méthode de MM. Bedell, Chandler et Sherwood (fig. 1) exige, comme celle de

Fig. 1. — Schéma du montage.

M. Kapp (³) la mesure de la tension nécessaire aux bornes du primaire, pour que, le secondaire étant en court-circuit, l'intensité du courant y ait la valeur particulière correspondant au degré de la charge qu'on doit étudier. La puissance absorbée dans ce cas est également notée. Le facteur de puissance de l'appareil dans ces conditions sert de base au diagramme permettant de calculer la chute de tension; il reste sensiblement constant, quelle que soit l'intensité du courant. Pour justifier la détermination de chaque point, l'auteur se sert du diagramme du transformateur, donné dans son récent traité des transformateurs (⁴).

(¹) *The Electrical World* du 14 août 1897.

(²) Voir F. Guilbert. Essais d'une série de transformateurs américains. *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 495, 1897.

(³) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 421.

(⁴) Voir aussi Bedell. Lieux de l'admittance et de l'impédance. *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 80, 1897.

Soient OF (fig. 2) la direction du courant primaire et OM le vecteur représentant en

Fig. 2. — Diagramme du transformateur à courant constant de M. Bedell.

grandeur et phase la différence de potentiel nécessaire pour faire passer le courant I ou OR dans le primaire. Si la résistance du secondaire varie, le vecteur représentant la tension nécessaire pour maintenir un courant constant dans le primaire aura son extrémité sur le demi-cercle LTJ, OJ étant sa valeur à circuit secondaire ouvert et OL sa valeur à circuit secondaire fermé sur lui-même. Ceci suppose qu'il n'y a pas de fuites magnétiques; lorsque celles-ci existent, le lieu de l'extrémité du vecteur de la tension primaire est le demi-cercle PMJ et BN est la portion de réactance correspondant aux fuites magnétiques.

Supposons que OM soit la valeur normale de la tension aux bornes du circuit primaire et OR l'intensité normale du courant; OP serait la tension primaire nécessaire pour faire passer ce courant lorsque le secondaire est en court-circuit et que sa résistance est supposée nulle.

Il est évident que la différence géométrique PM est la force électromotrice induite secondaire ramenée au circuit primaire, c'est-à-dire multipliée par le rapport de transformation. Pour obtenir la tension aux bornes secondaires, il suffira de retrancher algébriquement de PM la chute de tension due au courant secondaire (et multiplier par le rapport de transformation), puisque la charge est supposée sans induction, et de diviser le

résultat par le rapport de transformation. Tout revient donc à déterminer les grandeurs nécessaires pour construire le diagramme de la figure 2.

Pour cela cherchons à construire le triangle BOH. La ligne OH est la chute ohmique due à la fois au courant primaire et au courant secondaire, BH est la force électromotrice de self-induction due aux fuites magnétiques, et OB la tension aux bornes primaires pour un courant donné dans le secondaire supposé en court-circuit. L'angle $\theta =$ BOH est le décalage de phase dans ces conditions, et comme les côtés du triangle varient proportionnellement avec le courant primaire, il reste constant, quel que soit celui-ci.

Dans beaucoup de transformateurs, la chute de tension due aux résistances est partagée également entre le circuit primaire et le circuit secondaire. Il faut alors partager le vecteur OH en deux parties égales OL et HL; si l'on fait ensuite PL = BH, on obtient le triangle PLO, ce qui détermine le point P. Théoriquement la ligne PL n'est pas rigoureusement égale à BH, mais le demi-cercle JMP a un rayon suffisant pour que cette erreur soit négligeable. Le vecteur OJ représente la tension nécessaire pour faire passer le même courant OR = I, lorsque le secondaire est ouvert; cette valeur absolument théorique s'obtient facilement par le rapport

$$\frac{OJ}{E_1} = \frac{I_1}{I_0}$$

où E_1 est la tension primaire normale, et I_0 le courant à vide pour cette même tension.

Comme OJ est assez grand il y a intérêt à supprimer la construction du point J. Pour y arriver prolongeons OR et abaissons de M une perpendiculaire MF sur OR qui rencontre en N la parallèle à OF, on voit facilement que si l'on peut calculer MN le point M sera déterminé.

Or on a :

$$\frac{JP}{MP} = \frac{MP}{MN}$$

ou

$$MN = \frac{MP^2}{JP}.$$

D'autre part, la ligne JP peut être prise sans grande erreur égale à JO, puisque ces deux droites sont relativement grandes par rapport à PL et LO, et MP peut être supposée égale à la tension primaire.

On a donc :

$$MN = \frac{E_1^2}{OJ}$$

et l'erreur commise, il reste à le vérifier, n'affecte pas sensiblement les résultats.

Substituons la valeur obtenue pour OJ, on a finalement

$$MN = \frac{E_1^2}{E_1 \frac{I_0}{I_1}} = \frac{I_0}{I_1}.$$

Le vecteur MN est la chute due à la self-induction et à l'induction mutuelle, additionnée à la chute de tension PL due aux fuites magnétiques; elle donne la chute totale occasionnée par la réactance du transformateur.

Le diagramme peut alors être construit de la façon suivante : on trace d'abord le triangle

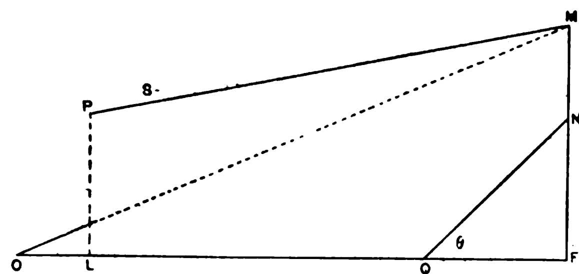


Fig. 3. — Diagramme pour la détermination de la chute de tension d'un transformateur fonctionnant sur charge non inductive.

QNF (fig. 3) où QN est la lecture faite au voltmètre primaire, lorsque le secondaire étant fermé sur lui-même le courant y a la valeur voulue, et où l'angle θ a pour cosinus le rapport de la lecture du wattmètre au produit des volts par les ampères primaires.

On prolonge ensuite la droite FN d'une quantité MN égale à $E_1 \frac{I_0}{I_1}$, la valeur de I_0 étant

obtenue par un essai à vide; puis du point M comme centre on décrit avec un rayon égal à la tension primaire et un arc de cercle qui coupe FQ prolongée en O.

A partir du point on porte enfin une longueur OL égale à la moitié de QF, on mène la perpendiculaire LP, on joint MP et on prend PS = OL. Le segment MS représente la tension aux bornes secondaires multipliée par le rapport de transformation. Lorsque la chute de tension ohmique n'est pas partagée également entre les deux enroulements, la longueur OL se détermine facilement en partageant QF dans le rapport inverse des densités de courant dans les circuits primaire et secondaire.

On opérera de même pour chaque intensité de régime, le triangle QNF étant conservé, il suffira de prendre pour une nouvelle valeur I_1', au courant primaire MN égal à $E_1 \frac{I_1}{I_1'}$.

Cette méthode très commode et se déduisant des mêmes mesures que celles nécessaires à la détermination du rendement a été appli-

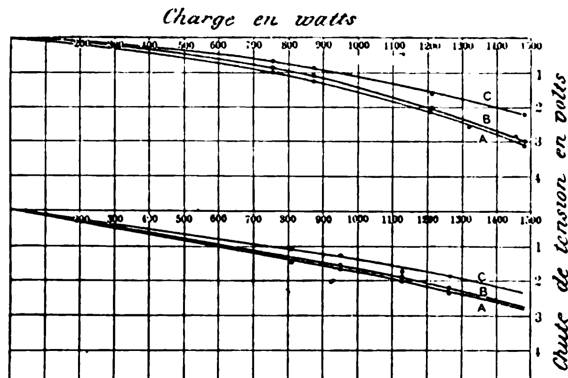


Fig. 4 et 5. — Courbes de chute de tension d'un transformateur de 1500 watts et de rapport de transformation égal à 10.

Voltage primaire....... 1000 volts
Pertes par hystérésis.... 55 watts
Courant à vide......... 0,085 ampère.
A. Chute de tension mesurée;
B. » calculée (méthode Bedell);
C. » » (méthode Kapp).

quée par MM. Bedell, Chandler et Sherwood, conjointement avec la méthode de M. Kapp; ces savants ont également mesuré directement les chutes de tensions. Les essais ont porté sur un certain nombre de transformateurs industriels ou de laboratoire. Dans tous les cas, la méthode des auteurs s'est trouvée beaucoup plus exacte que celle de M. Kapp. Les différences entre la chute de tension mesurée et celle calculée n'a jamais dépassé 0,2 volt (tension secondaire 100 volts) et sont souvent restées inférieures à 0,1 volt.

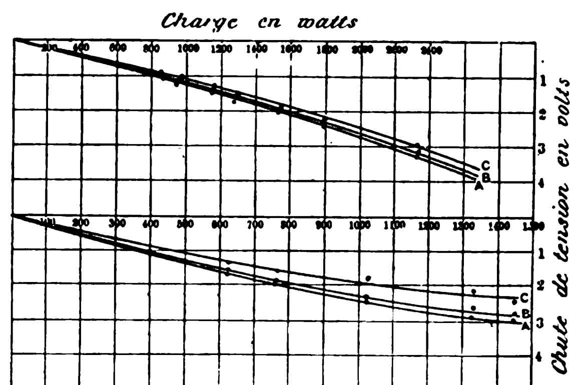


Fig. 6 et 7.

Fig. 6. — Mêmes courbes pour un transformateur de 2500 watts.

Pertes par hystérésis... 50 watts
Courant à vide........ 0,058 ampère.

Fig. 7. — Mêmes courbes pour un transformateur de 1250 watts.

Pertes par hystérésis... 35 watts
Courant à vide......... 0,042 ampère.

Les figures 4 à 9 représentent les chutes de tensions en fonction de la charge pour 7 transformateurs essayés. Les courbes A

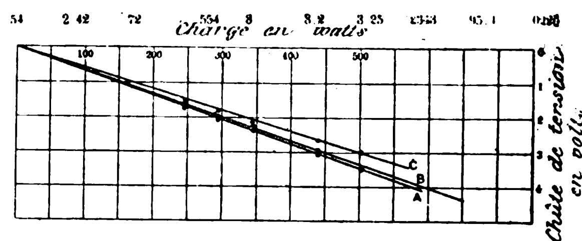


Fig. 8. — Mêmes courbes pour un transformateur de 500 watts.

Pertes par hystérésis... 23 watts
Courant à vide......... 0,037 ampère.

correspondent aux valeurs mesurées, les courbes B se rapportent aux valeurs calculées par la méthode que nous venons d'indiquer et les courbes C à celles calculées par la méthode de M. Kapp.

Pour donner une idée de la précision des

mesures, nous reproduisons les chiffres correspondant à un transformateur industriel (tableau ci-dessous), transformateur auquel se rapportent les données suivantes :

Puissance du transformateur : 2500 watts
Rapport de transformation : 10
Tension primaire : 1000 volts Fréquence : 126
Pertes par hystérésis : 50 watts
Courant magnétisant : 0,058 ampères.

Les chiffres de ce tableau montrent que la méthode de MM. Bedell, Chandler et Sherwood est suffisamment précise pour le calcul de la chute de tension, son seul défaut est qu'elle n'est applicable qu'aux transformateurs fonctionnant sur résistance sans induction.

Pour calculer la chute de tension dans le cas de circuits d'utilisation inductifs, il reste donc la méthode de M. Kapp; mais étant donnée sa faible précision, il faut espérer que les auteurs nous donneront bientôt une généralisation de leur méthode, si toutefois elle est possible.

F. G.

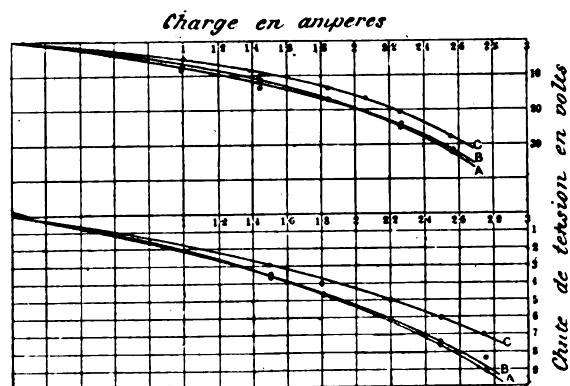


Fig. 9 et 10.
Fig. 9.— Mêmes courbes pour un transformateur de 250 watts.
Pertes par hystérésis ..
Courant à vide......... 0,384 ampère.
Fig. 10.— Mêmes courbes pour un transformateur de 300 watts.
Pertes par hystérésis...
Courant à vide......... 0,184 ampère.

TABLEAU DES MESURES RELEVÉES SUR UN TRANSFORMATEUR

Volts primaires.	Ampères primaires.	Watts.	Cos φ.	Chute de tension.			Charge.	Rendement.	Coefficient de self-inductiou dû aux fuites.
				Méthode de Kapp.	Méthode de Bedell.	Mesurée.			
18	0,85	8,25	0,545	0,99	1	1,1	832	93,5	0,022
17,8	0,845	8,25							
20,8	0,96	10,9	0.546	1,05	1,2	1,3	947,5	94,1	0,0229
20,7	0,96	10,8							
24,05	1,13	14,9	0,550	1,3	1,4	1,5	1128	94,5	0,0224
24	1,13	14,95							
28	1,32	20,1	0,553	1,59	1,65	1,75	1297	94,8	0,0224
28	1,32	20,4							
33	1,54	28	0,550	1,65	1,9	2	1310	95,2	0,0226
32,9	1,54	28,2							
35,25	1,62	32,25	0.563	1,92	2	2,1	1585	95,2	0,0228
35,25	1,62	32,15							
40,25	1,84	40,5	0,550	2,2	2,35	2,4	1795	95,5	0,0229
40	1,84	40,5							
54	2,42	72	0,554	3	3,2	3,25	2343	95,1	0,0226

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur les ondes secondaires des diélectriques;

Par A. Righi [1].

M. Righi a déjà montré qu'un résonateur R peut être impressionné [2] à la fois par les ondes électriques venues d'un excitateur O et par les *ondes secondaires* qu'un résonateur R' voisin du premier émet sous l'influence des ondes de l'excitateur.

De même, une petite masse diélectrique D placée dans un champ oscillant prend une certaine charge superficielle alternative et produit extérieurement une force électrique alternative de sens opposé à la force électrique primaire; le phénomène est analogue à la production d'une force électrique alternative par les charges alternatives des deux conducteurs qui forment un excitateur de Hertz ou un résonateur de Righi. Le corps isolant D agit donc comme s'il était le siège d'un effet de *résonance*.

Mais il y a une *grande différence* entre le cas du résonateur et celui du corps isolant : les ondes secondaires engendrées par le résonateur possèdent une période d'oscillation et un amortissement qui dépendent de la nature, de la forme et des dimensions du résonateur. Au contraire, les ondes engendrées par la masse isolante D sont fidèlement de même forme que les oscillations incidentes, et pour la période, et pour l'amortissement.

Il est vrai qu'on peut constater, au moyen d'un résonateur R, l'interférence entre les ondes qui proviennent directement de l'oscillateur et les ondes secondaires engendrées par un autre résonnateur R' ou par un simple fil métallique rectiligne. Mais cela tient à la résonance multiple [1] : à cause du rapide amortissement des vibrations de l'oscillateur, un résonateur peut résonner même si sa période diffère de celle des vibrations incidentes. C'est la période propre au résonateur R qui règle seule le phénomène.

Dans le cas du diélectrique D, les ondes secondaires ont même période que celles de l'oscillateur et agissent comme celles-ci sur le résonateur.

En plaçant à petite distance du résonateur un diélectrique quelconque, on reconnaît en effet qu'il agit sur le résonateur tantôt en augmentant, tantôt en diminuant les étincelles, ou encore en les faisant disparaître.

La manière la plus simple d'étudier les ondes secondaires des diélectriques consiste à placer le résonateur dans la position transversale, c'est-à-dire perpendiculaire à la fois à l'oscillateur et au rayon qui en émane, ou dans la position longitudinale, c'est-à-dire dans la direction de la propagation. Le résonateur ne subit alors aucune action de l'onde venue directement de l'oscillateur. Mais un diélectrique de forme et de position convenables peut faire apparaître des étincelles au résonateur.

Ondes secondaires d'une sphère diélectrique. — Si le diélectrique D a la forme d'une sphère de rayon R, il agit comme un petit oscillateur parallèle au premier. Les expériences faites ont pour but de vérifier que la force électrique produite par la sphère varie comme la force qui serait produite par la sphère placée dans un champ constant.

Or, si l'on prend pour axe des z la direction du champ électrique φ, l'origine étant au point occupé par le résonateur, si l'on

(1) *Memorie della R. Acc. dell Istituto di Bologna*, série V, t. VI.

(2) A. Righi, *Memorie della R. Acc. delle Istituto di Bologna*, série V, t. IV, p. 566. Voir *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 583-592.

(1) Voir à ce sujet : Garbasso. *La Lumière Électrique*, t. XLIV, p. 489.

appelle r la distance de la sphère C à l'origine, α, β, γ les angles de O C avec les trois axes rectangulaires ox, oy, oz, les composantes de la force électrique produite par la sphère sont, suivant les axes ox et oy :

$$X = \frac{H}{r^3} \cos \alpha \cos \beta, \; Y = \frac{H}{r^3} \cos \beta \cos \gamma$$

(où $H = 3 \varphi R^3 \frac{K-1}{K+2}$, K étant la constante diélectrique de la sphère).

Si l'on fait tourner la sphère autour de ox dans un plan perpendiculaire à ox, tg α est constant et l'on trouve alors, par les formules précédentes, que X est maximum quand la sphère est dans le plan x et z et nulle quand la sphère est dans le plan xy ; Y est maximum quand la sphère est dans le plan bissecteur du dièdre ox et nulle quand la sphère est dans l'un des plans xy, xz.

On vérifie en effet, par exemple, que si le résonateur placé en o est dirigé suivant ox, les étincelles qu'il montre à l'approche de la sphère C sont à leur maximum d'éclat et de fréquence quand le centre de la sphère est dans le plan xz, et disparaissent quand le centre de la sphère est dans le plan xy.

Si la sphère décrit une circonférence autour de oy dans un plan parallèle à xz, les expressions de X et Y s'échangent et les expériences correspondent encore aux prévisions.

Si la sphère décrit une circonférence autour de oz dans un plan parallèle à xy, l'action est maximum quand le centre de la sphère est dans le plan xz et nulle dans le plan yz, si le résonateur est dirigé suivant ox, et, au contraire, nulle quand le centre de la sphère est dans le plan xz et maximum quand il est dans le plan yz, si le résonateur est placé suivant oy.

Dans ces expériences, il n'est pas possible de se trouver exactement dans les conditions supposées par la théorie : dimensions de la sphère et du résonateur petites par rapport à leur distance r. La distance r était de 20 cm au moins.

La sphère massive, en verre, avait un rayon de 4 cm. Le résonateur, de longueur d'onde propre égale à 20 cm, était assez sensible et placé à petite distance de l'oscillateur formé de sphères de 3,75 cm de diamètre et muni de son miroir parabolique.

En employant deux sphères au lieu d'une, on obtient des phénomènes d'interférence entre les ondes secondaires émanées des deux sphères. Par exemple, le résonateur dirigé suivant ox ou oy, qui étincelle sous l'action d'une sphère de verre c, redevient obscur si, à l'action de c, s'ajoute l'action égale et opposée d'une sphère c' symétrique de c par rapport au plan xy. D'autres positions de c' peuvent au contraire accroître l'éclat et la fréquence des étincelles dues à l'action de c.

Ondes secondaires d'un cylindre diélectrique. — Ici s'introduit l'influence de l'orientation de l'axe du cylindre. Soit α l'angle entre l'axe $o_0 z_0$ du cylindre et la direction oz du champ φ, ϖ l'angle entre le plan $x_0 z_0$, passant par l'axe $o_0 z_0$ et parallèle à $o z$, et le plan xz. Une théorie analogue à celle de la sphère diélectrique détermine les composantes X, Y de la force électrique développée par l'action du cylindre diélectrique de constante K et de rayon R, placé dans le champ électrique φ parallèle à $o z$. On pose ici

$$H = \Phi R^2 \frac{K-1}{K+1}.$$

Le tableau suivant (p. 498) résume les résultats de la théorie confirmés par l'expérience. Les seuls cas retenus sont ceux où l'un des trois angles α, β, ϖ est quelconque et les deux autres égaux à 0° ou 90°.

o_0 étant le point de l'axe du cylindre situé dans le plan xz, r désigne la distance oo_0 et β l'angle de oo_0 avec oz.

Le cylindre diélectrique, de verre par exemple, a un diamètre de 5 cm au plus. Le résonateur peut avoir 10,6 cm ou 20 cm de longueur d'onde, ou une dimension quelconque intermédiaire. La distance r peut être de 10 à 20 cm.

On peut observer des phénomènes d'interférence entre les ondes secondaires émanées de deux cylindres diélectriques.

α	β	ϖ	X	Y
0°	β°	0°	0	0
0	β	90	0	0
0	0	ϖ	0	0
0	90	ϖ	0	0
90	0	ϖ	0	0
90	90	ϖ	0	0
90	β	0	0	0
90	β	90	$\frac{H \sin 2\beta}{r^2}$	0
α	90	0	$-\frac{H \operatorname{tg} \alpha}{r^2}$	0
α	90	90	0	$\frac{H \sin 2\alpha}{2 r^2}$
α	0	0	$-\frac{H}{r^2 \operatorname{tg} \alpha}$	0
α	0	90	0	$-\frac{H}{r^2 \operatorname{tg} \alpha}$

Ondes secondaires produites par un diélectrique dont la forme n'est ni sphérique ni cylindrique. — Un prisme allongé agit d'une manière analogue à celle d'un cylindre.

M. Righi signale particulièrement l'analogie de l'action secondaire d'un diélectrique avec celle d'un corps biréfringent : si entre un oscillateur et un résonateur perpendiculaires on interpose un diélectrique dont la forme n'est pas de révolution autour de la droite qui va de l'oscillateur au résonateur, l'étincelle du résonateur peut réapparaître, de même que la lumière reparaît par interposition d'une lame cristalline entre deux nicols croisés. Comme avec une lame cristalline, il existe quatre orientations rectangulaires de la lame diélectrique pour lesquelles l'effet produit est nul, et quatre orientation intermédiaires pour lesquelles il est maximum. Cet effet subsiste encore si, entre le diélectrique et le résonateur, on interpose un grand diaphragme métallique muni d'une ouverture circulaire de diamètre inférieur à la plus petite dimension du diélectrique. Il faudrait bien se garder de conclure d'une telle apparence à la biréfringence de la lame interposée.

Cet exemple montre l'utilité de s'occuper des actions secondaires d'un diélectrique, en dehors même de l'intérêt propre de ces phénomènes.

G. SAGNAC.

Nouvel indicateur d'ondes électriques ;

Par A. RIGHI [1].

Righi a déjà montré que, si l'on réunit un tube à gaz raréfié aux pôles d'une pile dont la force électromotrice est inférieure ou à peine égale à celle qui est nécessaire pour le passage de l'électricité, il se produit certains phénomènes intéressants. Il suffit d'approcher la main pour que le tube s'illumine et que le courant s'établisse aussitôt. Si le passage de l'électricité est très faible lorsque les électrodes sont à petite distance, il devient tout à coup énergique lorsque l'on écarte les électrodes.

Il y avait lieu de supposer que les ondes électriques produites par des étincelles auraient une action; et, en effet, l'étincelle d'une machine électrique voisine modifie profondément la propagation de l'électricité dans un tube à gaz raréfié. L'altération varie avec la pression du gaz, la forme, la position et la distance des électrodes.

Avec quelques-uns des tubes, l'auteur a observé le phénomène suivant : la force électromotrice étant très peu inférieure à celle nécessaire pour le passage de l'électricité, aussitôt que les étincelles éclatent, le tube s'illumine et l'aiguille d'un galvanomètre placé dans le circuit est fortement déviée. Quand les étincelles cessent, le galvanomètre retourne au zéro. Le courant peut être employé à produire ainsi un signal à chaque étincelle.

La sensibilité du tube est peu différente de celle du cohéreur et l'on n'a pas à secouer

(1) *Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei*, vol. VI, fasc. IX, p, 245, 7 novembre 1897,

le tube pour lui rendre sa sensibilité primitive. Il semble, comme dans le cas du cohéreur que l'action a lieu non pas directement sur le tube, mais sur les conducteurs avec lesquels il est en communication.

Les tubes employés sont de forme sphérique; les électrodes sont des fils de platine terminés en pointe et courbés à angle droit vers leur extrémité; elles constituent un rectangle, la pointe de chacune s'arrêtant à quelques dixièmes de millimètre de la partie cylindrique de l'autre. G. G.

Recherches sur l'action des radiations actives sur la nature de la décharge;

Par A. Sella [1]

Beaucoup de circonstances influent sur la valeur de la distance explosive maxima d'un excitateur et, en particulier, les radiations ultra-violettes et les rayons de Rœntgen. Ainsi, lorsqu'on illumine le pôle négatif dans le cas de petites étincelles et d'électrodes à grande courbure, on allonge la distance explosive; tandis que si on illumine le pôle positif lorsqu'il s'agit de grandes étincelles éclatant entre de petites électrodes, on diminue la distance explosive [2].

La question a déjà été étudiée, entre autres par Hertz [3], par Wiedemann et Ebert [4], qui ont fait des recherches détaillées sur l'altération des caractères de la décharge, par exemple en insérant un téléphone dans le circuit, par Elster et Geitel [5].

Finalement, Sella et Majorana [6] ont montré que, si le circuit de décharge d'une bobine d'induction est divisé en deux branches contenant, l'une un tube de Crookes, l'autre un interrupteur à étincelle, on constate de profondes altérations dans la décharge lorsqu'on illumine le trajet de l'étincelle par les rayons de Rœntgen émanés du tube de Crookes ou par des rayons ultra-violets,

Tous ces résultats qualitatifs ont conduit l'auteur à essayer une mesure quantitative du phénomène.

Supposons que la décharge puisse passer à la fois par un fil métallique ayant une résistance inductive et par un excitateur. Si la décharge est rapidement oscillante, l'obstruction produite par la résistance inductive est telle que l'étincelle éclate entre les deux pôles de l'excitateur. Cardani [1] a déjà fait des recherches sur le mode de répartition de la décharge dans les deux circuits dérivés.

Le rapport des quantités d'énergie absorbées dans les deux branches doit varier suivant que l'on illumine ou non le trajet de l'étincelle par des radiations actives. Pour vérifier ce fait, il suffit de mesurer l'échauffement du fil de la résistance. Les expériences ont été disposées de la façon suivante : les deux pôles d'une machine d'influence sont reliés aux armatures primaires de deux condensateurs. Les armatures secondaires sont réunies par un micromètre à étincelle et une résistance. On règle l'appareil de façon que l'étincelle du primaire éclate toujours pour une différence de potentiel fixe; l'énergie de la charge des condensateurs est alors constante et il en est de même de l'énergie développée par la décharge dans le secondaire.

L'étincelle du circuit secondaire (étincelle passive) est illuminée par l'étincelle du circuit primaire (étincelle active); on peut interposer un écran opaque aux radiations ultra-violettes. La résistance est constituée par un mince fil d'argent placé dans un flacon de verre communiquant avec l'atmosphère au moyen d'un tube capillaire fermé par un index li-

---

(1) *Rendiconti del R. Accad. dei Lincei*, vol. VI, p. 184, 19 septembre 1897.

(2) Sella et Majorana, *Rendiconti dei Lincei*, vol. I, p. 323, 1896; voir *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 36, 2 janvier 1897.

(3) *Wied. Ann.*, 34, p. 168, 1888.

(4) *Wied. Ann.*, 33, p. 241, 1888. 48, p. 521, et 49, p. 2, 1893.

(5) *Wied. Ann.*, 57, p. 401, 1896; voir *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 377, 22 avril 1896.

(6) *Rendiconti dei Lincei*, vol. V, p. 389, 1896; voir *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 36, 2 janvier 1897.

(1) *Il Nuovo Cimento*, 3, 36, p. 142, 1894.

quide. Les variations de volume dues à l'échauffement de l'air du récipient sont, comme on sait, indépendantes de la masse même de cet air. Mais il ne faut pas que les dimensions du récipient soient trop petites à cause du refroidissement par la paroi, ni trop grandes car la pression qui déplace l'index liquide devient trop faible.

Enfin, la petitesse de la section du tube capillaire est limitée par suite de la force capillaire, qui produit du frottement. L'appareil décrit, analogue au thermomètre de Riess, serait trop sensible aux variations de la pression atmosphérique; aussi, l'extrémité du tube capillaire placé horizontalement débouche-t-elle dans un deuxième récipient identique au précédent et fermé. On évite ainsi l'influence de l'air ambiant. Pour donner à l'index une position stable, le tube est légèrement convexe vers le sol. Enfin, comme le retour de l'index à sa position d'équilibre demanderait trop de temps puisqu'il faudrait attendre le refroidissement de l'air qui entoure la spirale, on a mis les deux récipients en communication avec l'atmosphère, chacun au moyen d'un tube capillaire très étroit. De cette façon, l'échauffement produit par la décharge détermine un brusque déplacement de l'index et celui-ci revient lentement à sa position d'équilibre bien avant le refroidissement complet. On peut donc faire des expériences successives.

L'appareil est assez sensible pour permettre une mesure avec une seule décharge; ceci accroit la précision, car, si on laisse les étincelles éclater à de brefs intervalles, les dernières n'ont plus lieu pour une différence de potentiel égale à celle des premières. Il est bon aussi de repolir les surfaces des électrodes après chaque décharge.

Voici les moyennes d'expériences obtenues pour une étincelle primaire de 16 mm; les électrodes du micromètre primaire étaient des sphères de laiton d'un rayon de 11 mm, et celles du secondaire de 14 mm; on laissait agir l'étincelle active, puis on interposait un écran.

Distance explosive secondaire en mm	Déplacement de l'index en divisions de tubes.	
	Sans écran	Avec écran
1	21	24,1
2	23	27
3	24,5	29,5
6	46	61,5
8	74	124,9

Des expériences nombreuses ont été faites en faisant varier la substance des électrodes, la spirale, etc. L'action de la lumière ultraviolette est très notable et d'autant plus grande que la distance explosive secondaire est elle-même plus grande.

L'auteur se propose d'étudier les différents facteurs qui influent sur le phénomène : capacité, résistance, self-induction, etc.

G. G.

De l'action des diverses charges électriques sur la propriété de décharge de l'air rœntgenisé ;

Par E. Villari (1).

L'auteur a déjà démontré que les gaz traversés par les rayons X (rœntgenisés) conservent la propriété de décharger les conducteurs électrisés après un parcours de 10 m dans un tube de verre ou de plomb; mais ils perdent cette propriété de décharge quand ils ont passé à travers un ozonateur en activité (2). Dans l'ozonateur, les propriétés de l'air sont neutralisées par les deux charges électriques de signes opposés des deux armatures.

Dans le travail actuel, l'air sec à la pression de 65 mm d'eau est amené par un tube de plomb sur une petite sphère C ou un fil de laiton poli, puis vient agir sur un électroscope à une feuille d'or. Le petit conducteur peut-être mis au sol ou chargé. Dans tous les cas, l'air qui a passé sur lui, s'il n'a pas subi l'action des rayons X, ne modifie point la charge de l'électroscope. On fait entrer les

(1) *Rend. della R. Accad. delle Scienze di Napoli*, fasc. IV, avril 1897.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 233.

rayons X par une paroi d'aluminium dans le réservoir de plomb qui renferme l'air sec; l'air ainsi rœntgenisé décharge rapidement l'électroscope. Maintenant on interpose, entre le tube de plomb amenant l'air et l'électroscope, le petit conducteur C de laiton poli; on observe que:

Si l'air rœntgenisé passe sur le conducteur chargé positivement ou négativement, il ne décharge pas sensiblement l'électroscope pourvu d'une charge de même signe; il se comporte alors vis-à-vis de l'électroscope comme de l'air non rœntgenisé.

Mais si l'électroscope possède une charge de signe opposé à celle du conducteur, l'air décharge l'électroscope comme s'il n'avait pas passé sur le conducteur C.

On réunit les actions des deux charges positives et négatives en remplaçant le conducteur C par un anneau de fil de cuivre qu'on introduit par une tubulure latérale au milieu du tube de plomb amenant l'air rœntgenisé; l'anneau isolé par une tige de paraffine a été chargé par une pile sèche; le tube prend par influence la charge contraire sur sa paroi interne. L'air qui sort du tube est alors dépouillé de toute action de décharge sur l'électroscope, que la charge de celui-ci soit positive ou négative. L'air est dans les mêmes conditions que l'air non rœntgenisé ou que l'air rœntgenisé qui a traversé un ozonateur.

Ces résultats paraissent confirmer l'hypothèse de l'ionisation des gaz par l'action des rayons X; toutefois M. Villari ne présente cette explication qu'avec les plus grandes réserves. G. SAGNAC.

Des actions de l'électricité sur la propriété de décharge de l'air rœntgenisé;

Par E. VILLARI [1].

La disposition des expériences diffère peu de celle qui est décrite dans le mémoire précédent.

Les résultats déjà signalés sont expliqués par l'auteur dans l'hypothèse d'une ionisation de l'air par l'action des rayons X; quand l'air rœntgenisé, et par suite ionisé, passe sur le conducteur C chargé positivement, les ions négatifs attirés par C perdent leur charge entièrement; l'air peut encore décharger l'électroscope par ses ions positifs si l'électroscope est chargé négativement, c'est-à-dire a une charge opposée à celle de C; mais l'air n'agit plus sur l'électroscope chargé positivement comme C, la charge de l'électroscope ne pouvant plus attirer les ions de l'air qui ont des charges positives.

Si l'air passe sur deux conducteurs de charges opposées, il perd les charges de ses deux espèces opposées d'ions, c'est-à-dire ce qui lui donnait la propriété de décharger les conducteurs; il est ramené à l'état normal. Tout cela est parfaitement conforme aux faits.

Il a été constaté par MM. Benoist et Hurmuzescu que les rayons X déchargent un peu plus rapidement [1] les corps négatifs que les corps positifs. D'autre part, M. Righi [2] a signalé que la décharge positive par les rayons X n'était pas toujours complète et que les corps chargés négativement pouvaient même être chargés positivement. Cela peut faire penser que, dans l'air rœntgenisé, la charge positive des ions est plus grande que la charge négative. Bien que M. Villari ait constaté les mêmes faits que les auteurs précédents, il ne veut pas supposer qu'il y ait dissymétrie dans les charges opposées d'ionisation et réserve l'explication de ces particularités.

Une seconde particularité est que l'air rœntgenisé qui a passé sur un fil F, de charge $\mp$, décharge l'électricité contraire $\pm$ de l'électroscope E un peu plus lentement que si le fil F est au sol, ce qui, d'après les hypothèses d'ionisation, ne devrait pas avoir lieu, les seuls ions capables de décharger E

(1) *Rendiconti della R. Accademia dei Lincei*, Ve série, t. VI, p. 343-354.

(1) *Comptes rendus*, 3 février, 17 mars, 27 avril 1896. *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 308, 415.

(2) *Comptes rendus*, 17 février 1896. *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 399.

étant chargés ∓ comme F et, par suite, devant être respectés par le fil F. Mais cela peut tenir à un phénomène d'induction mutuelle de F et E.

Cette induction mutuelle de F et E se manifeste directement quand l'air n'est pas rœntgenisé. La décharge spontanée de l'électroscope E est en effet plus lente quand le fil F, au lieu d'être au sol, est chargé d'électricité de même signe que celle de E ; elle est plus lente encore si F est chargé d'électricité de signe contraire à celle de E. L'analogie des résultats numériques obtenus dans ces différents cas avec ceux que donne l'air rœntgenisé dans les mêmes conditions justifie l'explication de l'anomalie observée, fondée sur l'influence électrique.

Une autre influence électrique intervenant dans les observations est l'influence du fil F sur le tube du plomb qui amène l'air. C'est cette influence que l'auteur a mise à profit (voir le mémoire précédent) en introduisant un anneau de fil de laiton isolé et chargé à l'intérieur du tube, ce qui réalise l'effet de neutralisation des propriétés de décharge de l'air rœntgenisé qui passe dans le tube. On est alors dans un cas analogue à celui de l'ozonateur dont les armatures se chargent d'électricités opposées et neutralisent ainsi les charges des deux espèces opposées d'ions. Il est d'ailleurs connu que l'activité de l'ozonateur se prolonge ou se raccourcit suivant la durée d'existence des charges résiduelles des armatures.

Ces derniers faits plus particulièrement ne s'expliquent guère par un transport d'électricité, par le gaz rœntgenisé, depuis le corps chargé jusqu'à l'électroscope. M. Villari ajoute qu'il n'a pas réussi à observer, d'ailleurs, un pareil transport. Au contraire, on peut dire que les diverses particules des gaz rœntgenisés se comportent comme si elles étaient douées de charges opposées. Mais il est inutile de parler d'ionisation dans le sens de dissociation. Si réellement les molécules des gaz se dissociaient sous l'influence des rayons X, comme on le suppose quelquefois, le volume des gaz devrait augmenter ; or, M. Villari n'a pas réussi, malgré plusieurs tentatives, à observer une dilatation des gaz exposés aux rayons X [1].

G. Sagnac.

Un moyen d'obtenir une vitesse angulaire constante; interrupteur rapide pour courants intenses;

Par Webster [2].

1. Le procédé employé a été indiqué autrefois par M. Marcel Deprez. Sur l'arbre d'un moteur à courant continu sont fixées deux armatures, l'une pour le courant principal, qui est continu ; l'autre, et dont les extrémités sont reliées à deux bagues collectrices, sert pour le courant régulateur auxiliaire. Dans l'appareil utilisé, de la puissance d'un cheval environ, les deux enroulements sont fixés sur la même carcasse et sont dans le même champ.

On règle d'abord la vitesse de rotation du moteur, avec le courant principal, au moyen d'une méthode stroboscopique, de façon qu'il décrive un tour pendant la durée de l'oscillation double d'un diapason. Un miroir porté par ce diapason envoie, deux fois par période, dans la direction de l'axe du moteur, un rayon lumineux réfléchi par un miroir oblique à l'axe ; quand le diapason est immobile, la trace du rayon lumineux réfléchi décrit un cercle sur un écran ; quand le synchronisme est établi, on ne voit plus que deux arcs de ce

---

[1] Nous remarquerons qu'il n'y a au point de vue électrolytique, qu'une très faible quantité d'électricité mise en jeu dans la décharge des conducteurs par les rayons X et dans la neutralisation des gaz rœntgenisés par le contact des conducteurs. Il s'ensuit alors que s'il y avait réellement dissociation des gaz avec changement de volume, le nombre des molécules dissociées serait une fraction tellement faible du nombre total des molécules que le changement supposé de volnme passerait inaperçu.

C'est pour la même raison qu'on ne saurait s'étonner de l'invariabilité du pouvoir rotatoire d'une substance exposée aux rayons X. (Voir à ce sujet : Ch-Ed. Guillaume ; les rayons X et la dissociation ; *Revue générale des Sciences* du 15 juillet 1897, p. 532.)

[2] *American Journal of Science*, t. III, mai 1897.

cercle, lesquels tendent à se déplacer dans un sens ou dans l'autre, suivant le signe des variations de vitesse du moteur. Quand l'immobilité des deux arcs est à peu près obtenue, on lance, par l'intermédiaire du diapason lui-même, le courant auxiliaire, qui favorise ou retarde la marche du moteur, suivant la phase relative de l'oscillation et de la rotation.

L'observateur peut vérifier la constance de la fréquence du diapason en le comparant à un étalon; un téléphone, mis en dérivation sur l'armature auxiliaire, appelle l'attention dans le cas où le synchronisme se dérègle.

Le moteur a été essayé sur un tour; le courant était fourni par une dynamo Edison de 110 volts; on réduisait ce voltage de plus de moitié par des résistances, ce qui ne fournissait pas un potentiel très régulier. La vitesse du tour était double de celle qu'on pouvait lui communiquer avec le pied. Dans une expérience, le voltage aux bornes était de 47, avec 12 ampères. Le courant régulateur atteignait en moyenne 1,9 ampère. Pendant cinq minutes les oscillations furent lentes et le déplacement total de l'arc lumineux ne dépassa pas 70°; pendant les 8 secondes suivantes, on constata une oscillation, de part et d'autre, de 45°, correspondant à une variation de vitesse de $\frac{1}{800}$; ce sont les plus mauvais résultats qui aient été observés. Pendant les 23 minutes suivantes, le synchronisme se maintint pendant que le voltage tombait de 46,5 à 45 volts. Trois autres essais ont donné des résultats aussi satisfaisants, pour des puissances variant de $\frac{1}{2}$ cheval à 1 cheval et demi.

2. L'interrupteur très régulier nécessaire pour le fonctionnement du système précédent est constitué par une veine parabolique de mercure, maintenue dans une eau courante et que vient toucher périodiquement une pointe fixée à l'une des branches du diapason; le mercure est ramené automatiquement dans le vase où il s'écoule.

L'auteur décrit deux dispositifs.

Dans le premier, trois tubes verticaux A, B, C sont en relation, par leur partie supérieure, entre eux et avec une trompe à eau. A et B plongent dans un même réservoir R, qui reçoit le mercure après son écoulement; A est beaucoup plus étroit que B et porte en outre un étranglement; sous l'action du vide le mercure monte dans les deux tubes et la partie inférieure du tube A se découvre; l'air y pénètre, chassant devant lui le mercure qui, au moment où il traverse l'étranglement, est vivement projeté et vient tomber dans C, d'où il s'écoule, par un tube deux fois recourbé, dans le vase d'où sort la veine sur laquelle ont lieu les contacts. L'air étant rentré dans l'appareil, le mercure qui était monté dans B redescend dans le réservoir R et la même opération se reproduit. Cet appareil a pu fonctionner pendant une heure, avec un courant de 20 ampères.

Dans une seconde disposition, plus simple (voir la figure), l'eau pénètre dans la branche W d'un tube en Y, entraîne le mercure, qui arrive par l'autre branche R, et le déverse dans le tube A par quantités de la valeur d'une cuillerée à café. Le mercure s'écoule en B; le courant est amené en P; F est le diapason avec la pointe. L'eau sort par U et ne peut pas entraîner de mercure. Quand on arrête la marche, il faut empêcher l'écoulement en E, pour éviter l'introduction d'air.

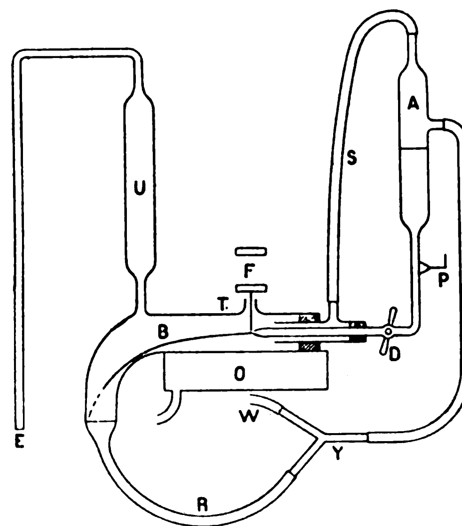


Fig. 1.

L'eau qui pourrait sortir en T est recueillie en O. L'appareil a fonctionné sous une pression de 2,5 m d'eau, avec un débit d'un peu plus de 1 litre par minute; le courant était de 20 ampères, la fréquence a été de 50 et de 100 par seconde. C. R.

BIBLIOGRAPHIE

Le laboratoire d'électricité. — NOTES ET FORMULES, par le Dr J.-A. FLEMING. — Traduit de l'anglais sur la 2e édition et augmenté d'un appendice par J. ROUTIN, ancien élève de l'École Polytechnique. — *Gauthier-Villars et fils*, éditeurs.

Sous le titre explicatif ci-dessus, M. J. Routin vient d'enrichir notre littérature électrotechnique de la traduction d'un intéressant ouvrage dû à la plume autorisée du professeur Fleming.

Cet ouvrage ne s'adresse pas aux débutants et suppose, au contraire, connue toute la partie théorique de l'électricité. Son utilité n'en sera pas moindre si l'on veut bien se rappeler que la théorie n'est rien si elle n'est appuyée sur une suffisante connaissance de la pratique.

Le but que s'est proposé l'auteur consiste en effet à donner à la partie manipulation, forcément négligée dans les traités ordinaires d'électricité, un développement en rapport avec son extrême importance, suffisant pour familiariser d'une manière complète l'étudiant avec la pratique du laboratoire.

Une suite de quarante-deux manipulations bien choisies conduit progressivement des mesures élémentaires du début (étalonnages de galvanomètres, mesures de résistance, de force électromotrice, explorations de champs magnétiques, photométrie, etc.) aux expériences les plus importantes de la pratique industrielle (rendements de dynamos, de moteurs, de transformateurs, rotatifs ou ordinaires, détermination de la perméabilité d'échantillons de fer, courbes d'hystérésis, etc.).

Chacune de ces manipulations fait l'objet d'une description aussi concise que possible, exempte de développements oratoires superflus, mais où sont consignés, outre un bref rappel des considérations théoriques sur lesquelles on s'appuie, de nombreux renseignements pratiques, des observations fréquentes, destinés à mettre l'expérimentateur en garde contre les difficultés qui se présentent si souvent. L'exposé de chaque manipulation commence par l'énumération des principaux appareils nécessaires; il se termine par la représentation du tableau dont l'expérimentateur devra remplir les différentes colonnes au cours de la manipulation. Les différents résultats que l'on peut acquérir d'une même expérience, soit en se plaçant à des points de vue différents, soit en effectuant quelques essais supplémentaires, soit en discutant les données acquises, sont signalés en passant.

Ainsi guidé à chacun de ses pas, l'élève aura tous les éléments nécessaires pour éviter les accès de mauvaise humeur que chacun de nous a connus dans son jeune temps quand l'électricité, cette grande mystificatrice, lui jouait quelque tour dont une heure de tâtonnements était la conséquence.

Le livre est très soigné au point de vue typographique, ce qui n'est qu'un cas particulier d'une règle générale heureuse adoptée par la maison Gauthier-Villars pour ses publications. Nous n'aurions donc que des compliments à faire si le traducteur avait attaché plus, beaucoup plus d'importance à la sauvegarde des principes de l'homogénéité, qualité qui a du bon, quoi qu'on puisse en dire.

Ajoutons que le livre se termine par un appendice dans lequel, outre l'indication des corrections à faire subir aux lectures galvanométriques en fonction de la déviation, sont décrites deux méthodes inédites, l'une pour la détermination du rendement des alternateurs, l'autre pour celle du rendement des dynamos, en général. Cette dernière, personnelle au traducteur, est fort élégante : elle a d'ailleurs fait l'objet d'un article spécial paru ici même (1).

Nous recommandons cet ouvrage, non seulement aux étudiants en électricité, mais encore — et peut-être surtout — aux ingénieurs auxquels il trouvera, sans aucun doute, plus d'une occasion de rendre service.

G. CLAUDE.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 169, 24 octobre 1896.

La traction mécanique des tramways; par M. Raymond GODFERNAUX, ingénieur des arts et manufactures, attaché à l'exploitation des chemins de fer du Nord et à la direction de diverses Compagnies de chemins de fer d'intérêt local. — Un volume élégamment cartonné avec plans et figures. Chez *Baudry et Cie*, éditeurs, 15, rue des Saints-Pères, Paris.

Que les praticiens s'en réjouissent, car ce n'est pas un docte volume rempli de formules, la plupart du temps très savantes, mais toujours d'un maniement difficile dans les calculs courants, que nous donne aujourd'hui M. R. Godfernaux,

C'est, au contraire, un ouvrage éminemment pratique qui vient à son heure donner des chiffres minutieusement recueillis et sagement comparés sur la traction mécanique des tramways.

L'intérêt de ce livre réside dans son opportunité même et dans la conscience qu'a mise l'auteur à l'écrire.

Les nombreux ingénieurs qui s'occupent des questions de tramways y trouveront des méthodes simples pour les calculs usuels en matière de traction, notamment le calcul de la résistance et du travail sur un profil quelconque.

Les municipalités en quête d'un tramway, qui ont reçu des propositions préconisant l'emploi de différents systèmes, pourront, à la lecture de ce traité, se former une opinion en toute indépendance.

Ils y trouveront ce grand enseignement que le choix de tel ou tel système est une question d'espèce, qui dépend surtout des circonstances locales, usines existantes, perspective à conserver, rampes à franchir, longueur du parcours, fréquence de départ, etc.

On voit d'ailleurs, par le tableau comparatif ci-dessous, combien les prix de revient par voiture-kilomètre s'approchent les uns des autres, et quelle peut être en conséquence l'influence des circonstances locales pour accroître certains d'entre eux, qui sont les moins élevés en thèse générale et favoriser les autres.

DÉPENSES TOTALES DE TRACTION PAR VOITURE-KILOMÈTRE

Tramways.	Frais de traction.	Amortissement.	Dépense totale.
Système Rowan . . .	0,35	0,11	0,46
— Serpollet . . .	0,30	0,11	0,41
Moteur à gaz.	0,43	0,11	0,54
Air comprimé	0,42	0,15	0,57
Accumulateurs.	0,34	0,13	0,47
Trolley.	0,31	0,17	0,48

Ce tableau ne contient pas le système des tramways à locomotive sans foyer système Lamm et Francq qui sont plutôt indiqués pour les lignes suburbaines.

Dans ce système, en tablant sur des trains composés de trois voitures de 8 tonnes et d'une locomotive de 16 tonnes, le kilomètre-train revient à 0 fr 591 et le kilomètre-voiture à 0 fr 197.

Si nous examinons plus au fond l'ouvrage de M. Godfernaux, nous aurions à faire remarquer que la résistance moyenne de traction par tonne a été fixée à 17 kg 50. Ce chiffre nous paraît un peu fort, bien qu'il ait été vérifié sur plusieurs lignes existantes, notamment sur celle du cours de Vincennes à Saint-Augustin (à Paris).

Il en résulte que les prix de revient indiqués plus haut sont plutôt des maxima.

L'auteur a-t-il voulu faire acte de prudence ? Nous ne pouvons que l'en féliciter.

CHRONIQUE

Régulation des moteurs hydrauliques.— M. MARK A. REPLOGLE, dont nous avons antérieurement décrit le régulateur électro-mécanique pour turbines (*L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 452) a publié dans *The American Machinist* une intéressante étude sur cet important sujet. *The Engineering Magazine* l'analyse en ces termes.

On a reconnu qu'il est impossible de régulariser la vitesse augulaire d'un genre quelconque de moteur instantanément et proportionnellement à la somme de travail qu'il doit fournir. Les variations de la charge doivent d'abord être sensibles; la régulation de la vitesse ne peut venir qu'ensuite. Il doit donc y avoir un intervalle de temps entre le commencement de la variation de charge et le commencement de la régulation. Un des points à réaliser dans la construction d'un bon régulateur est de réduire cet intervalle de temps à la plus faible valeur possible. D'autre part, tandis que les changements de vitesse sont dans une stricte dépen-

dance de la force mise en jeu et, avec une force donnée, exigent un temps défini pour s'accomplir, une variation de charge peut être instantanée. On doit donc faire en sorte que des changements instantanés dans la charge ne se traduisent que par des changements graduels de la vitesse, et cela de telle façon que les premiers régissent les seconds. Mais, comme l'un doit se produire avant l'autre, on ne peut éviter une certaine variation de vitesse. Partant, un bon régulateur doit non seulement réduire l'intervalle de temps qui s'écoule entre la variation de la charge et le commencement de la régulation, mais doit aussi avoir une puissance suffisante pour éviter que, dans un court intervalle, une grande variation de vitesse puisse se produire.

Quels sont les éléments qui entrent en jeu dans la régulation d'un moteur hydraulique ? M. Replogle les partage en quatre classes : 1° Variations de la charge ou de la puissance fournie ; 2° Temps nécessaire à l'action de la pesanteur pour engendrer le travail ; 3° Capacité de l'installation pour accumuler l'énergie ; 4° Mécanisme régulateur qui doit combiner automatiquement les trois premiers éléments de façon à obtenir une vitesse angulaire régulière.

Or la vitesse angulaire du moteur étant la résultante de la force motrice qui l'anime (puissance) et de la charge qui lui est appliquée (résistance), toute variation de l'une doit être accompagnée d'une variation équivalente de l'autre, si l'on veut que la vitesse ne varie pas, à moins toutefois que la capacité d'emmagasinement soit infinie, auquel cas la vitesse resterait constante ; en pratique, on ne peut obtenir une capacité infinie, mais on a intérêt à en avoir une aussi grande que possible ; c'est le rôle du volant. Reste la question de temps; elle a une importance capitale avec les moteurs hydrauliques, par suite de la nature de la masse en mouvement (colonne d'eau) par laquelle le travail est engendré. L'eau étant pratiquement non élastique, si elle est confinée dans un tuyau ou dans une conduite, la force nécessaire pour amortir le mouvement de la masse sera fonction de la longueur de ce tuyau ou de cette conduite. Par conséquent, et c'est la conclusion pratique de cette étude, lorsqu'on désire une régulation aussi parfaite que possible, les longues conduites horizontales doivent être évitées et la masse d'eau entière doit être complètement verticale.

La transmission de la force par l'électricité dans les exploitations houillères. — Il est malheureusement assez rare qu'un ingénieur puisse, lorsqu'il est chargé d'une installation importante, aller étudier à l'étranger les installations analogues. Un ingénieur français, M. Goichot, a fait un voyage en Angleterre et aux États-Unis dans le but de visiter les principales exploitations houillères où l'on utilise l'électricité pour la transmission de la force. A son retour, il a communiqué à la Société des ingénieurs civils de France un intéressant rapport sur ce sujet. Nous en donnons ici le résumé :

La cherté de la main-d'œuvre et la production sans cesse croissante ont peu à peu provoqué la substitution du travail des machines à celui de l'homme. Les quatre agents principaux utilisés dans les mines sont les transmissions mécaniques, la vapeur, l'air comprimé, l'électricité.

Les transmissions mécaniques ne sont pas susceptibles d'emploi dans le cas de longues distances. La vapeur et l'air comprimé nécessitent des canalisations coûteuses et n'ont pas donné de résultats encourageants.

L'électricité présente des avantages considérables à cause de la facilité de son transport et de sa souplesse. Mais les moteurs électriques ont pendant longtemps été fort peu pratiques; il y avait à craindre, soit les accidents dus au contact des mineurs avec les conducteurs, soit les étincelles toujours à redouter avec le grisou. Les améliorations sont telles, maintenant, que l'emploi de l'électricité se généralise rapidement.

Dans les installations faites en Angleterre et aux États-Unis, on emploie des moteurs à vapeur à grande vitesse reliés par courroies aux génératrices d'électricité. Les génératrices à enroulement compound sont les plus commodes à cause de leur force électromotrice sensiblement constante malgré les variations de charge et de vitesse, ce qui assure la mise en marche des moteurs absorbant beaucoup de force au démarrage.

Les voltages usuels sont de 300 à 750 volts suivant la distance de la source d'électricité aux récepteurs et suivant le nombre de ceux-ci. En général, on utilise la distribution en dérivation par courants continus, les conducteurs sont sommairement isolés; toutefois on tend à employer maintenant des câbles à isolement fort aussi bien au point de vue mécanique qu'au point de vue électrique, de façon à pouvoir les poser directement

sur le sol des galeries. La descente dans les puits se fait par câbles isolés au caoutchouc, recouverts d'un tube de plomb et d'une armature d'acier. Ils sont quelquefois protégés mécaniquement par des tubes de fonte revêtus intérieurement de verre. Quand la profondeur est trop grande pour que l'on puisse laisser les câbles se tendre par leur poids, on les amarre par des isolateurs scellés le long des parois. Au fond, les conducteurs d'aller et retour sont séparés par la largeur des galeries.

Les moteurs ne diffèrent pas de ceux employés pour d'autres applications, sauf peut-être dans leur enveloppe.

Il existe, en Autriche-Hongrie, une petite installation de 50 chevaux, à courants triphasés.

L'énergie électrique est utilisée, dans les mines, à actionner des *pompes*, des *treuils*, de petites *machines d'extraction pour bures*, des *haveuses*, des *locomotives*, des *perforatrices* et des *ventilateurs*.

Les *pompes* les plus employées sont des pompes à trois pistons plongeurs égaux, qui ont une marche très régulière, travaillent à haute pression et ont une consommation d'énergie très sensiblement constante. La commande par le moteur est faite, sauf quelques rares exceptions, au moyen d'un double train d'engrenages réducteurs.

Les *treuils* ont très souvent à actionner des traînages mécaniques par corde tête et corde queue; les démarrages et changements de vitesse sont donc fréquents, étant donné que la voie présente rarement les mêmes conditions sur toute sa longueur, quelques parties étant en rampe, d'autres en palier et d'autres en pente. Dans ce cas, on est arrivé à la conclusion qu'il est préférable de laisser tourner les moteurs à peu près continuellement, en les munissant d'un enroulement compound spécial, étudié pour chaque cas particulier et maintenant la vitesse constante malgré les variations de charge. La mise en marche du treuil, ainsi que les changements de marche, se font au moyen d'embrayages à friction et d'engrenages.

S'il s'agit de *treuils d'extraction* nécessitant fréquemment de petits mouvements en avant et en arrière pour assurer le niveau de l'arrêt, un moteur enroulé en série est préférable, et les divers mouvements peuvent plus facilement se régler par des moyens électriques que mécaniques.

On a tenté d'appliquer les moteurs électriques à presque toutes les *haveuses* qui avaient fonctionné avec quelque succès au moyen de l'air comprimé. Les plus employées sont les *haveuses à roues* pour le travail des longs fronts de taille, et les *haveuses à barres parallèles à l'attaque*, ainsi que celles *à chaîne sans fin*, qui semblent mieux adaptées aux couches plus solides et aux travaux de traçage. Toutes ces haveuses sont munies de moteurs avec enroulement en série, du type dit *cuirassé*, pouvant résister aux chutes de toit.

Les *locomotives électriques* sont surtout employées en Allemagne et aux Etats-Unis.

La pratique courante est de munir chaque truck de deux moteurs, type tramway à vitesse réduite, attaquant les essieux par une seule paire d'engrenages. La mise en marche graduelle et le réglage de la vitesse s'obtiennent, tantôt par des couplages au moyen d'un contrôleur, tantôt par des résistances au moyen d'un cadran sectionné à manette de contact. Les locomotives électriques ne peuvent être employées que dans les mines peu grisouteuses; car il est impossible d'éviter les étincelles à la prise de courant.

Les *ventilateurs* les plus employés sont des appareils du type Ser, avec commande directe par le moteur électrique. Ils sont de faible puissance, et sont surtout utilisés pour aérer les galeries en avancement.

Les *perforatrices* ont été longtemps à percussion; elles étaient alimentées par des courants pulsateurs; on leur substitue actuellement des perforatrices rotatives bien supérieures sous tous les rapports et n'exigeant pas de courants spéciaux.

Les installations électriques actuelles, quoique nombreuses, sont peu importantes parce que le développement s'en est fait dans les pays où il n'y a guère de grandes compagnies. Ces installations sont partielles et il n'y a pas de travail d'ensemble.

En France, les exploitations houillères appartiennent à de grandes compagnies et les conditions sont plus favorables pour l'exploitation électrique.

L'éclairage électrique à Paris. — Secteur de la place Clichy.

D'après le rapport présenté par le conseil d'administration à l'assemblée générale ordinaire du 28 octobre 1896, le matériel de production n'a pas reçu d'extension et semble suffire encore pour la nouvelle année; mais la marche progressive de l'exploitation indique qu'il faut songer déjà aux mesures à prendre pour augmenter la production. (Voir *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 287, 9 no-

vembre 1895, et t. IX, p. 422, 28 novembre 1896.)

Du 30 juin 1896 au 30 juin 1897, les lignes de distribution ont été augmentées de 6 031 m et les lignes de feeders de 3 896 m. Au 30 juin 1897, le réseau s'étendait sur 73,3 km et comportait 411 365 m, comme l'indique le tableau I.

TABLEAU I

DÉVELOPPEMENT	EXISTANT au 30 juin 1893.	EXISTANT au 30 juin 1894.	EXISTANT au 30 juin 1895.	EXISTANT au 30 juin 1896.	EXISTANT au 30 juin 1897.
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
Du réseau	45 232,70	51 872,90	58 533,20	67 020,50	73 511,50
De la canalisation à cinq fils	42 176,80	48 989,40	55 526,90	63 127,90	69 159,10
De la canalisation feeders	18 014,50	20 161,00	21 494,50	24 243,10	28 139,10
Des câbles de distribution	210 884,00	244 947,00	277 634,50	315 639,50	345 795,50
Des feeders	36 029,00	40 322,00	42 989,00	48 486,20	56 278,20
Des câbles d'éclairage public	5 992,00	6 481,00	6 529,00	9 191,20	9 291,20
Total des câbles	252 905,00	291 750,00	327 152,50	373 316,90	411 364,90

L'augmentation des branchements et des colonnes montantes continue, comme le montre le tableau II.

TABLEAU II

DÉSIGNATION	EXISTANT au 30 juin 1893.	EXISTANT au 30 juin 1894.	EXISTANT au 30 juin 1895.	EXISTANT au 30 juin 1896.	EXISTANT au 30 juin 1897.
Branchements extérieurs	565	788	1 003	1 240	1 550
Colonnes montantes	165	302	427	585	782
Branchements intérieurs simples	365	464	552	662	800
Branchements intérieurs sur colonnes montantes	378	755	1 140	1 641	2 366

On voit que le nombre des branchements extérieurs s'accroît de 310 cette année, au lieu de 237 l'année dernière, de même pour les colonnes montantes : 197 au lieu de 158. Les colonnes montantes continuent à être mieux utilisées ; si l'on admet qu'une colonne doit desservir en moyenne 6 logements, les 782 colonnes devraient desservir 4 692 logements; or, elles en desservent 2 366, soit 50 p. 100 au lieu de 47 p. 100 l'année précédente et 44 p. 100 dans l'année 1894-1895. Il y a donc amélioration malgré l'augmentation des colonnes toujours moins utilisées au début.

Le nombre des compteurs en service était de :

1 221 au 30 juin 1894
1 712 — 1895
2 168 — 1896
2 879 — 1897

Quant au nombre des lampes installées, réduites en lampes de 10 bougies, le tableau III montre qu'il s'élève à 152 846 en augmentation de 33 858.

La moyenne des lampes, par abonné est descendue de 57 p. 100 en 1895, 55 en 1896, à 53, montrant que l'emploi de l'éclairage électrique tend à pénétrer dans les logements moyens.

La moyenne de lampes, par 100 m de canalisation, était de :

140 lampes en 1894
172 — 1895
188 — 1896
221 — 1897

Le nombre des ascenseurs augmente rapidement, il est passé en une année de 105 à 208.

Le chauffage électrique progresse lentement ;

l'équivalent en lampes de 10 bougies était de 258 en 1896, il est maintenant de 603. Néanmoins, cette branche de la consommation semble devoir prendre un grand développement.

TABLEAU III

NOMBRE	EXISTANT au 30 juin 1893.	EXISTANT au 30 juin 1894.	EXISTANT au 30 juin 1895.	EXISTANT au 30 juin 1896.	EXISTANT au 30 juin 1897.
D'abonnés en service	743	1 208	1 646	2 161	2 864
De lampes de 10 bougies	45 763	69 860	95 471	118 988	152 846
Dont :					
Pour le service des particuliers. Éclairage	43 825	66 651	91 931	110 440	136 471
Pour le service des particuliers. Force motrice en lampes de 10 bougies	1 260	2 499	2 830	7 580	14 622
Pour le service des particuliers. Chauffage en lampes de 10 bougies	»	»	»	258	603
Pour l'éclairage public	678	710	710	710	1 150

L'emploi des accumulateurs pour régulariser le courant dans les sous-stations de réglage ayant donné des résultats insuffisants, les accumulateurs ont été revendus.

TABLEAU IV

CATÉGORIES	NOMBRE d'abonnés.	NOMBRE de lampes de 10 bougies.	CONSOMMATION annuelle.	PRODUIT annuel par lampe.
			fr.	fr.
Éclairage commercial	758	43 630	1 064 871,10	24,40
Éclairage domestique	1 873	92 841	745 375,20	8,02
Force motrice	223	14 622	56 530,35	3,86
Chauffage	10	603	694 65	1,15
Égout collecteur de Clichy	»	»	23 949,20	»
Fêtes franco-russes	»	»	1 192,20	»
Totaux	2 864	151 696	1 892 612,70	12,47

De l'examen de la partie financière du rapport, il résulte que les dépenses totales d'exploitation ont été de 672 833,10 fr en augmentation de 110 171,95 sur l'année précédente. Les recettes ont été de 2 219 975,35 fr, en augmentation de 465 216,55 fr ; elle se répartissent de la façon suivante :

Éclairage public	97 264,85 fr
Éclairage privé	1 892 612,70
Recettes diverses	230 097,80
	2 219 975,35 fr

Le tableau IV donne le détail des recettes de l'éclairage privé, en comprenant sous le titre d'éclairage commercial l'éclairage des cercles, théâtres, journaux, concerts, hôtels, cafés, magasins en boutique ou en appartement, bureaux et administrations.

Le produit net de l'exploitation s'est élevé à 1 547 142,25 fr ; ces bénéfices ont été distribués comme il suit :

Compte de réserve	59 982,60 fr
Compte d'amortissement	612 170,10
Compte de rachat des parts de fondateurs	200 000
Compte de dividende des actions à raison de 5 p. 100	200 000

L'éclairage électrique des casernes. — Le service du génie installe l'éclairage électrique dans toutes les nouvelles casernes qu'il construit. La

Revue du Génie donne le détail des installations qui ont été exécutées dans une caserne de cavalerie à Lure et dans une caserne d'artillerie à Héricourt.

Pour le quartier de cavalerie, les études préliminaires avaient fait reconnaître que l'installation électrique exigerait une dépense de premier établissement de 35 000 fr environ et une dépense annuelle de 9 760 fr avec amortissement, alors que, pour l'éclairage au gaz de même intensité, ces chiffres devenaient respectivement 7 000 et 18 200 fr.

Par suite d'additions ultérieures, les dépenses de premier établissement se sont élevées à un peu plus de 55 000 fr. Dans l'installation première, on n'avait admis que des lampes à incandescence; on a employé avantageusement des lampes à arc dans les installations complémentaires. Le prix moyen de la lampe-heure de huit bougies a été de 0,010 fr de 1892 à 1896.

La machinerie est disposée de façon à se passer d'un service de nuit. Le service est assuré par quatre dragons du régiment, un électricien et trois chauffeurs-mécaniciens : l'électricien, de service en permanence, n'assiste qu'aux exercices à pied du matin; les chauffeurs-mécaniciens alternent de façon que chacun d'eux reste complètement à l'escadron une semaine sur trois; aucun d'eux n'est rétribué.

Pour le quartier d'artillerie, les dépenses de premier établissement et les dépenses annuelles avec amortissement devaient, d'après les études préliminaires, s'élever respectivement à 46 000 et 11 164 fr pour l'éclairage électrique, à 12 000 et 15 970 fr pour l'éclairage au gaz, à 4 500 et 20 050 fr pour l'éclairage à l'huile. Les dépenses de premier établissement se sont élevées réellement à 50 752 fr. Le prix de la lampe-heure de huit bougies a été fixé à 0,017 fr. Les allocations destinées à couvrir les dépenses du fonctionnement de l'éclairage sont les suivantes: intendance, 2 448 fr; masse de chauffage, 3 716 fr; écoles, 104 fr environ; ordinaires, 2 240 fr environ.

Les lampes sont à incandescence. Le service est assuré par des canonniers sous la surveillance d'un lieutenant connaissant parfaitement tous les détails de l'installation et pouvant guider les canonniers électriciens pour la manœuvre des appareils et la conduite de la chaudière et du moteur; deux canonniers reçoivent une indemnité journalière de 0,50 fr chacun. La surveillance constante d'un officier à la fois mécanicien et électricien a donné d'excellents résultats pour le bon entretien des appareils.

Mastic au caoutchouc et à la gutta-percha. — *L'Electricien* donne quelques recettes pour obtenir un mastic s'appliquant sur les cuirs et un autre servant à fixer les bandes de caoutchouc sur le métal.

Un mastic très employé en sellerie pour les cuirs est formé d'un mélange de sulfure de carbone, d'essence de térébenthine et de gomme laque pétrie de façon à former une masse épaisse. Les pièces de cuir à mastiquer doivent être dégraissées et rendues rudes au toucher; le mastic étant étendu, on presse les extrémités des morceaux de cuir l'une contre l'autre jusqu'à dessiccation.

Les proportions employées le plus souvent sont les suivantes :

100 parties de caoutchouc finement découpé;
15 parties de résine;
10 parties de gomme laque :

le tout dissous dans le sulfure de carbone.

On prend 7 parties de ce mastic,
1 partie de caoutchouc,
50 parties de chloroforme,

et l'on fait digérer pendant plusieurs semaines.

En fondant ensemble 100 parties de gutta-percha, 100 parties d'asphalte ou de poix et 15 parties d'essence de térébenthine, on obtient un mastic qui s'emploie à chaud.

Pour appliquer les tissus ou les bandes de caoutchouc sur le métal, on prépare un bon mastic en dissolvant de la gomme laque dans dix fois son poids d'ammoniaque; on abandonne la solution à elle-même pendant trois ou quatre semaines, on obtient ainsi une matière transparente qui peut s'employer à froid.

Peu après avoir été employé, ce mastic devient pâteux par évaporation du gaz ammoniac, évaporation que l'on peut activer en chauffant.

Le mastic devient dur et très solide, il est imperméable à l'eau et aux gaz; on l'emploie aussi pour les articles d'ébonite.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY.

Tome XIII. Samedi 11 Décembre 1897 4e Année. — N° 50.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

LE FOUR ÉLECTRIQUE

Le principe du four à arcs multiples de PATTEN est bien connu [1] : un arc jaillissant entre deux charbons C_1 et C_2 (fig. 1) situés

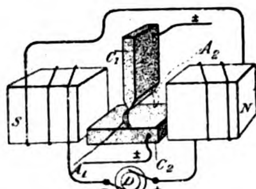


Fig. 1. — Principe du four Patten.

entre les pôles d'un électro-aimant NS passera alternativement de A_1 en A_2 et de A_2 en A_1, suivant que l'on changera le sens de son courant ou du courant de l'électro. Dans le dispositif (fig. 2) préféré par l'inventeur, c'est le courant des électros NS. NS qui change périodiquement de sens, ainsi que leur champ magnétique. A cet effet, le courant de la dynamo D, qui traverse directement les électrodes C_1 C_2, entre lesquelles jaillissent les arcs A, est shunté sur les plaques K_1 K_2 d'un commutateur à liquide U, dont l'arbre P, commandé par le moteur M, porte deux contacts K_1 K_2, qui renversent périodiquement le sens du courant dans le circuit Rh. Le four alimenté par O se vide par T.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 309, 8 mai 1897.

Le dispositif (fig. 3) est complété par l'emploi de commutateurs auxiliaires W_1 W_2 W_3 W_4. Dans la position figurée, le courant

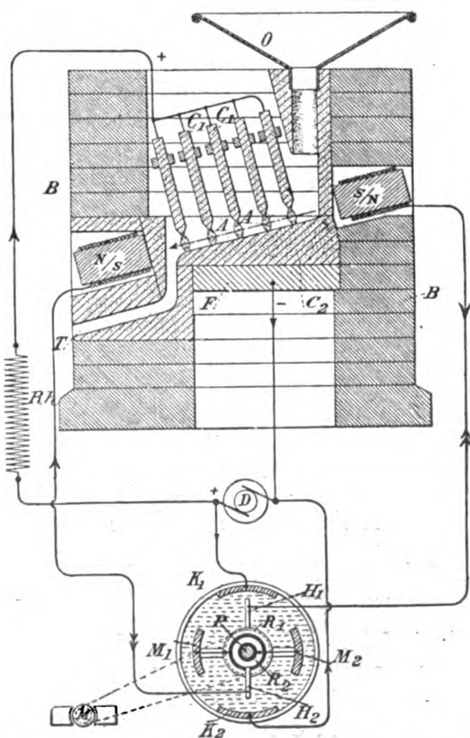


Fig. 2. — Four Patten à charbons multiples (1897).

de l'arc A est constant et celui de l'électro NS périodiquement renversé par K : l'inverse a

lieu quand on amène les commutateurs dans leurs positions pointillées.

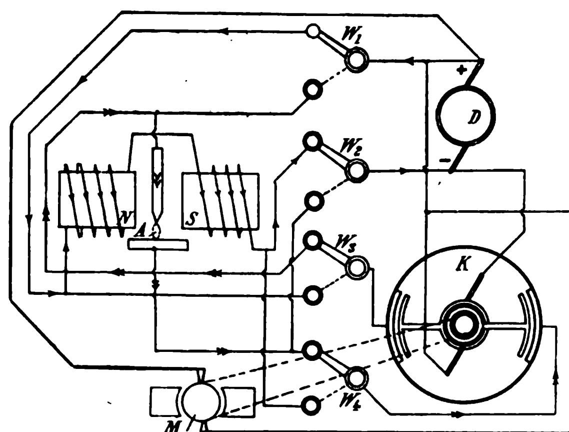


Fig. 3. — Commutateur Patten.

Dans le four à carbure de calcium de Patten, l'électrode négative est (fig. 4) constituée par le

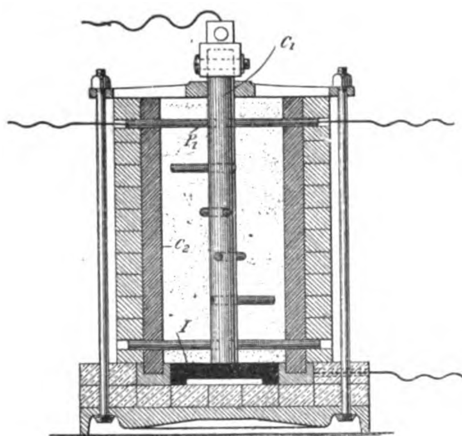


Fig. 4. — Four à carbure de calcium Patten (1897).

cylindre de carbone C_2, qui constitue le creuset du four, et l'électrode positive par la tige de carbone C_1, à baguettes P, destinées à diffuser le courant dans la masse de coke et de chaux qui remplit le four, et reposant sur un bloc de porcelaine I. A mesure que le carbure se forme et que la masse fond autour des baguettes P_1,..., la conductibilité de la masse augmente jusqu'à ce que la fusion soit complète au centre. On produit ainsi d'une seule fusion autant de moyeux de carbure qu'il y a de baguettes P, soit simultanément en les reliant toutes à la dynamo par le commutateur S_1 (fig. 5) ou séparément en les y reliant l'un après l'autre par S_2.

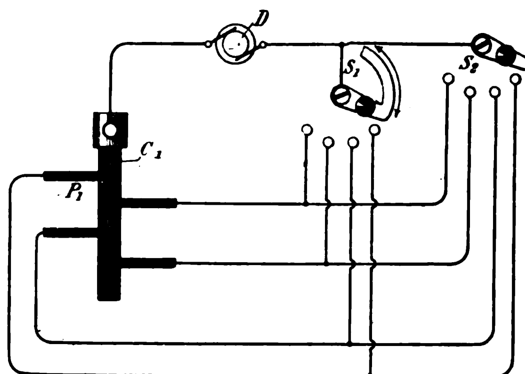
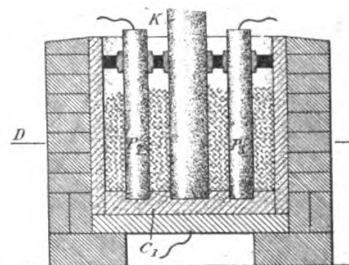


Fig. 5. — Commutateur du four précédent.

Dans le four (fig. 6) le centre, difficile à chauffer, est occupé par un gros charbon K, relié au creuset négatif en C_1, et entouré de



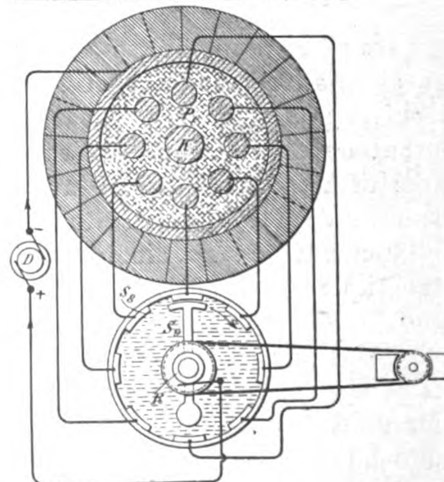


Fig. 6 et 7. — Four à carbure de calcium Patten avec commutateur à liquide.

charbons plus petits P, reliés d'une part à C_1 et de l'autre, successivement, au pôle positif

de la dynamo D par le commutateur R à liquide — eau acidulée — et contacts de charbon I. On leur envoie ainsi successivement,

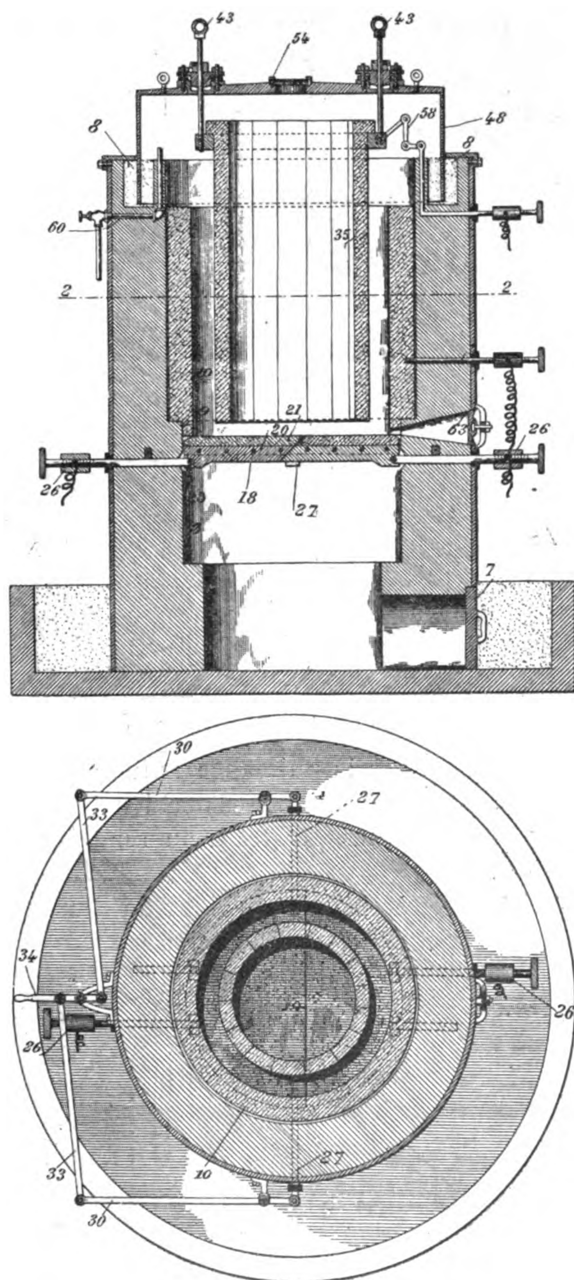


Fig. 8 et 9. — Four clos Eldridge, Wrigt et Clark (1897). Coupe verticale et horizontale (2 — 2).

et pendant un temps très court, un courant de 350 ampères 100 volts par exemple, qui les porte à l'incandescence et permet de soumettre à une haute température une masse beaucoup plus considérable qu'avec un seul charbon. Le commutateur R fonctionne sans étincelles.

Le four de MM. Eldridge Wright et Clark, représenté par les figures 8 et 9, est entièrement étanche, fermé par les joints au sable 7 et 8. L'anode 35 reçoit son courant par des menottes 58, qui permettent d'en régler la hauteur par les suspensions 43 43. La cathode,

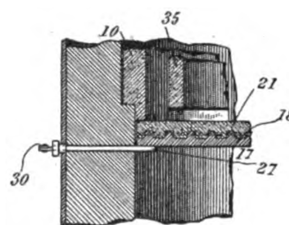


Fig. 10. — Four Eldridge. Détail de la sole.

également en carbone, est constituée par le creuset 10 et le fond 17, en deux parties demi-circulaires 18, avec plaques de carbone 21 fixées par des vis 22 (fig. 10) aux plaques mé-

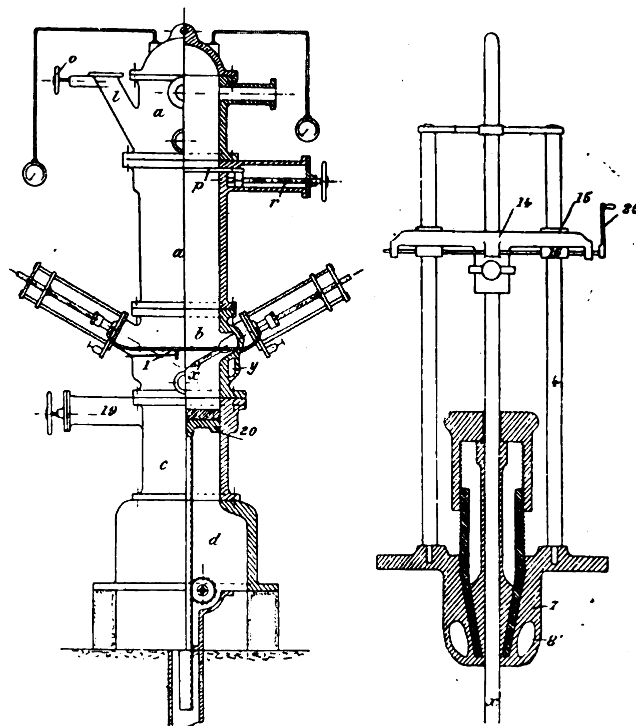


Fig. 11, 12 et 13. — Four clos de Patin (1896). Élévation, coupe et détail d'une tuyère.

talliques 20, articulées aux tiges 26, qui leur amènent le courant, et supportées par des barreaux 27, qu'il suffit de retirer simultanément par le renvoi 34, 33, 30 pour jeter le feu et vider le four. Les arcs qui jaillissent entre 35, 18 et 10 fondent rapidement la matière qui remplit l'anode 35, que l'on évacue par 63, et dont les gaz s'échappent par 60. Le remplissage du four se fait, soit en enlevant la cloche 48, soit par le regard en mica 54.

Le four de M. Patin représenté par les figures 11 à 15, permet aussi d'opérer dans le

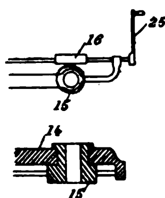


Fig. 14 et 15. — Four Patin. Détail du réglage des charbons.

vide ou à l'abri de l'air. La matière, chargée par la trémie *l*, à fermeture *o*, dans la chambre *a*, coupée par la cloison *p* manœuvrée par *r'*, tombe dans le foyer *b*; à circulation d'eau *y*, mise par le tuyau *i* en communication avec celle 8 des tuyères 7 (fig. 13) qui livrent passage aux électrodes *xx*, ajustées par leurs attaches 14, à écrous 15, filetés sur 4 et tournés, des manivelles 25, par les vis sans fin 16 (fig. 14). Après la fusion, on abaisse, en *a* par le piston 20, la matière fondue, on ferme le creuset *b* par la cloison 19, analogue à *p*, on ferme *p*, recharge *a*, débarrasse le piston 20 que l'on ramène dans sa position figurée, et l'opération recommence.

Le four électrique de Denther est (fig. 16) caractérisé par l'emploi d'une électrode C, oscillable au-dessus de l'électrode B par la tige G_1. Quand C occupe la position (fig. 16) le tiroir F', dans lequel se trouve la matière à réduire, repoussée par son galet F_2, vient au-dessus de l'orifice E' du bac E, de sorte que la matière tombe en H immédiatement au voisinage de l'arc jaillissant entre B et C. Dans la position symétrique de C, c'est au contraire le tiroir F qui se vide. On peut ainsi alimenter le four de matière immédiatement soumise à la plus haute température de l'arc, et en quantité proportionnelle, à

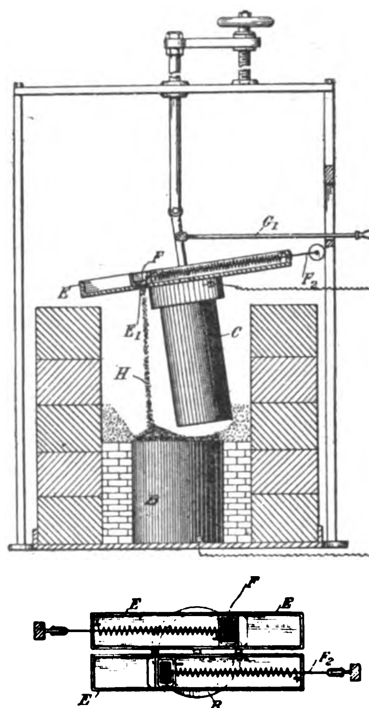


Fig. 16 et 17. — Four Denther (1897).

chaque instant, à la puissance réductrice de l'arc, c'est-à-dire distribuée, dans bien des cas, de la façon la plus favorable au rendement du four.

Le four à carbure de calcium de Bullier représenté par les figures 18 et 19, a son fond *b*,

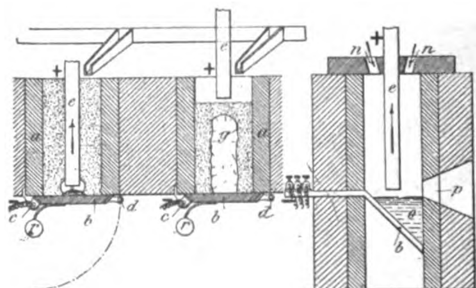


Fig. 18 et 19. — Four à carbure de calcium, Bullier (1897).

en carbone ou en métal, pivoté en *c*, maintenu par un contrepoids *r* et accroché en *d* : ce fond constitue le pôle négatif, dont le positif est le charbon *e*, que l'on éloigne graduellement de *b* à mesure que le carbure se forme

en *g*. Le garnissage *a* est en magnésie ou en chaux. Dans le type (fig. 19) l'électrode *b* est inclinée et forme en *o* une capacité que l'on remplit, à l'origine, de carbure de calcium,

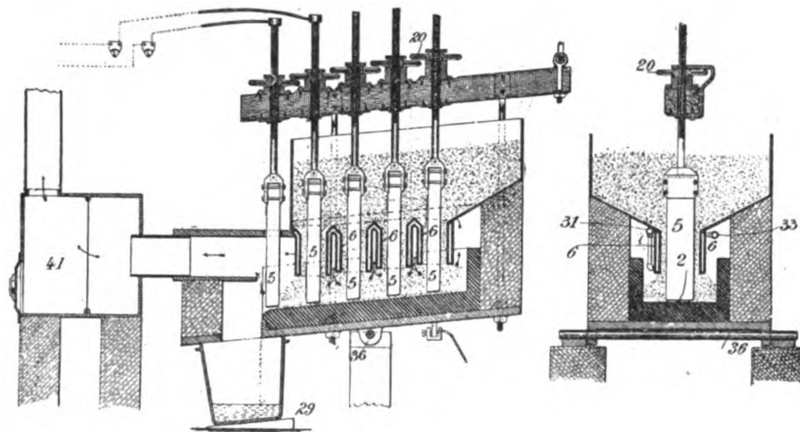


Fig. 20 et 21. — Four continu Price (1896).

au conctact duquel on amène d'abord *e*. L'alimentation se fait par *nn* et la coulée par *p* d'une façon continue.

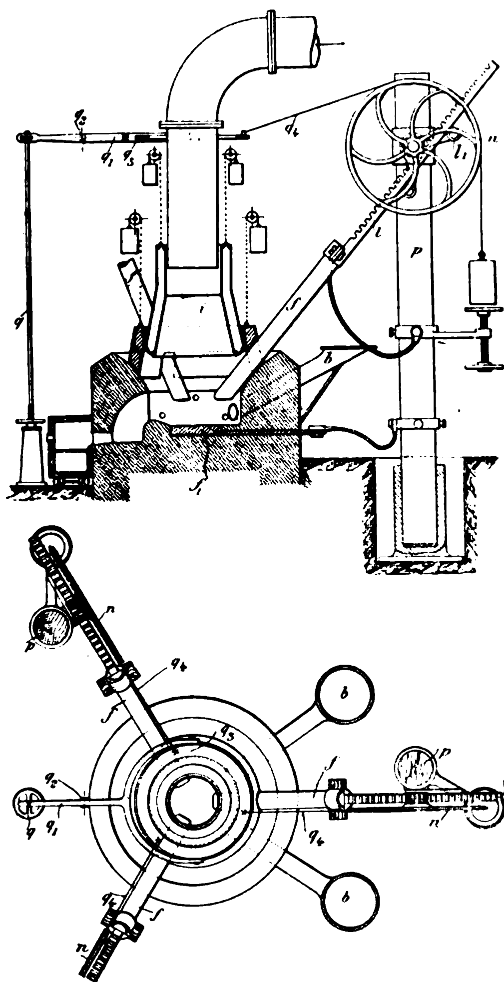


Fig. 22 et 23. — Four Bertolus à courants polyphasés (1897).

M. PRICE emploie dans son four continu (fig. 20) des électrodes multiples en carbone 5, réglables en 20 au-dessus de la sole en carbone 2 qui constitue la cathode. Le four tout entier peut basculer par 41 antour de 36, de manière à déverser sa coulée dans le pot 29, à l'abri de l'air. Sa matière est alimentée par la trémie, et les gaz s'évacuent par 41. Autour des charbons 5, passe une circulation d'eau 6, 31, 33.

Le four de C. BERTOLUS est (fig. 22) destiné à l'emploi des courants polyphasés. L'une des électrodes est constituée par la sole métallique f_1, les autres le sont par les charbons inclinés *f*, ajustables par *o* sur les colonnes *p*, et plus ou moins enfoncées dans le four par leurs crémaillères *l*, à galets l_1, que la tringle *q* commande simultanément par le levier q_1, pivoté en q_2, et dont l'anneau q_3 attaque les volants *n* par autant de fils q_4. Le four, alimenté en *bb*, est fermé par une cloche équilibrée facilitant l'introduction des électrodes : la hotte *i* pour l'évacuation des gaz est aussi équilibrée. Les avantages revendiqués par M. Bertolus en faveur des courants polyphasés sont les suivants : augmentation de la puissance du foyer par la multiplication des phases et des électrodes

qui sont moins surmenées, et dont on peut faire varier le nombre sans interrompre la

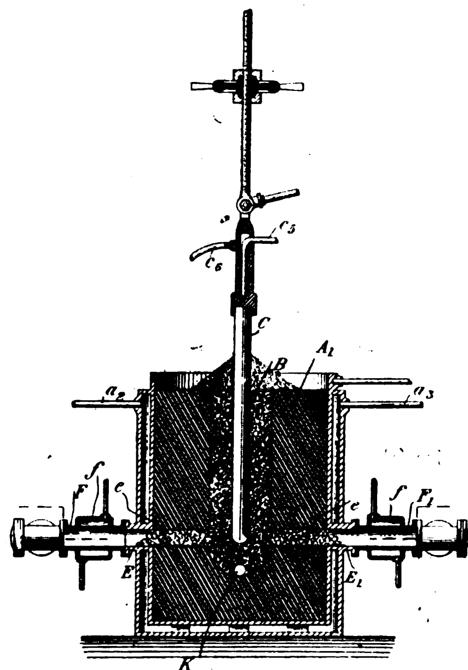


Fig. 24. — Four gazogène Combes (1897).

marche du four; facilité de graduer et de répartir la température aux différents points du four et suivant la marche de l'opération.

Le four de Combes, représenté par les (fig. 24 et 25) a principalement pour objet la formation d'un gaz de chauffage ou d'éclairage par le passage d'un gaz pauvre au travers d'une masse de coke incandescent *e* B *e*. Le gaz pauvre arrive par H, et traverse l'appareil suivant (FEE'F'I) ou (F'E'EFI) selon la position de la valve de renversement G, en effectuant en même temps le balayage des canaux EE',

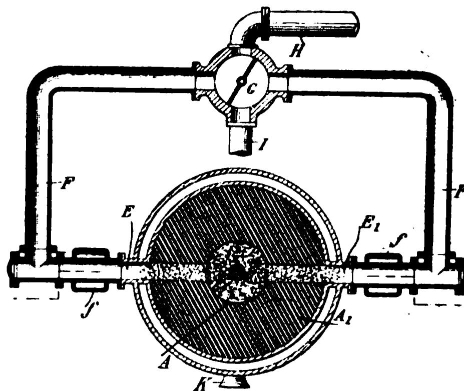


Fig. 25. — Four gazogène Combes (1897).

creusés dans l'électrode A'. L'électrode C est rafraîchie par une circulation d'eau c_5c_6; A' par a_2a_3, E et E' par *ff*. Les renversements de C_1 permettent d'étendre alternativement la zone de l'arc vers E puis vers E' et de maintenir ainsi le coke *ee* de ces conduites granuleux sans agglomération par une chaleur excessive toujours concentrée au même point. Les quelques produits fondus s'évacuent par K.

G. Richard.

SUR UN NOUVEAU SYSTÈME DE DISTRIBUTION

L'un des plus grands inconvénients dans l'emploi des courants triphasés pour les distributions d'éclairage est, comme on le sait, la difficulté d'obtenir des circuits ayant des charges très sensiblement égales.

Nous avons autrefois [1] reproduit les calculs faits par M. Steinmetz pour déterminer les tensions aux bornes et à l'extrémité de la ligne dans une distribution à courants triphasés dont un seul des circuits est chargé. Ces calculs montrent non seulement que les tensions efficaces sont inégales, ce à quoi on devait s'attendre à priori, mais encore que les tensions sur le circuit chargé ne sont pas forcément plus faibles que celles sur les deux autres circuits. Les chutes de tension, soit dans le générateur, soit dans la ligne, dont quelques-unes peuvent être négatives, dépendent uniquement des conditions d'inductance et de résistance des circuits.

[1] Voir notre article sur la méthode de M. Steinmetz pour le calcul des courants alternatifs, *Éclairage Électrique*, t. L, p. 562, 1893.

Le seul résultat à déduire du calcul, résultat du reste contrôlé par l'expérience, est que les inductances et les résistances soient aussi faibles que possible. Les chutes de tension due au déséquilibrage des circuits sont alors très faibles et sensiblement négligeables en pratique.

Si ces conditions de faibles inductances et résistances ne sont pas remplies toute tentative de réglage sur les circuits individuels ne peut résoudre la question de l'équilibre des tensions aux bornes d'utilisation.

L'*Electrical World* [1], dans un récent numéro, donne la description d'un nouveau système de groupements permettant dans la pensée de l'auteur de contre-balancer exactement les distributions par courants polyphasés, quelles que soient les différences de charges existant dans les circuits secondaires d'utilisation. Le procédé, malheureusement inexact, est de M. de Heldt, de Chicago. Voici en quoi il consiste.

Les trois circuits secondaires de chaque transformateur, dont les primaires sont branchés à la façon ordinaire sur la ligne, sont partagés chacun en trois parties d'un même nombre de spires et donnant par suite le même voltage efficace.

Avec ces neuf circuits on peut former trois circuits de tensions décalées entre elles d'un tiers de période en réunissant en série une bobine de chaque circuit secondaire et en inversant une des trois, de façon que chacune des bobines inversées soit située sur un circuit secondaire primitif différent. Ceci est très facile à démontrer et l'on voit en même temps (fig. 1) que la tension commune aux bornes des trois circuits ainsi obtenus sera égale seulement à deux fois celle d'un élément constitutif, et, par suite, aux deux tiers seulement de la différence de potentiel aux bornes des anciens circuits secondaires.

Supposons que la nouvelle distribution soit chargée inégalement sur les trois circuits, les intensités primaires sont-elles maintenant les mêmes ? Le raisonnement de l'*Electrical Wold*, qui est peut-être aussi celui de M. Heldt, est le suivant : chaque ancien circuit secondaire agissant de la même façon sur le circuit

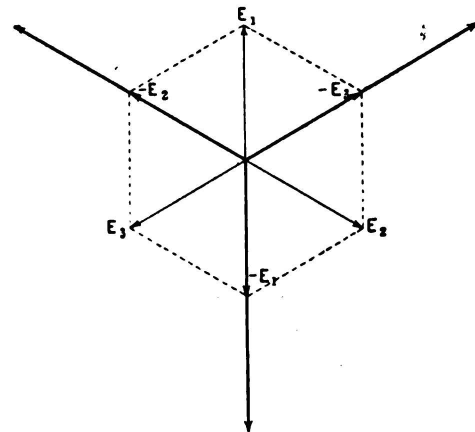


Fig. 1.

primaire correspondant, il en résulte que les circuits secondaires primitifs doivent prendre la même quantité d'énergie aux circuits primaires correspondants, et que, par suite, les charges sont également réparties sur la ligne.

Cette hypothèse est toute gratuite, et nous montrerons plus loin que les circuits primaires n'ont pas du tout la même charge.

On peut du reste vérifier immédiatement qu'il ne peut en être ainsi. En effet, les forces électromotrices induites sont décalées dans les trois parties de chaque circuit d'un sixième de période entre la première et la deuxième, et un sixième de période également entre la deuxième et la troisième, alors que le courant est le même dans les trois parties. On voit facilement qu'il n'est pas possible que le courant emprunte la même quantité d'énergie à chacun des trois tronçons, puisque, quel que soit le décalage du courant par rapport à la tension aux bornes, les décalages entre les forces électromotrices induites et ce courant ne peuvent jamais être égaux même en valeur absolue (fig. 2).

Revenons à l'hypothèse de M. Heldt, ou tout au moins à celle de l'*Electrical World*. L'erreur faite consiste, en somme, à admettre

[1] *The Electrical World* du 24 juillet, p. 100.

que la somme des ampèretours secondaires est la même en grandeur pour tous les circuits secondaires primitifs du transformateur.

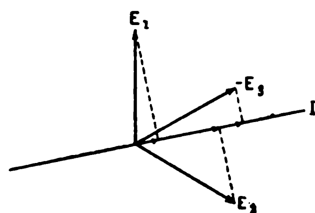


Fig. 2.

Si nous supposons que les courants quoique inégaux sont décalés entre eux d'un tiers de période, on voit en tenant compte de l'inversion d'un des courants que cela revient à admettre que trois vecteurs d'inégales longueurs décalés le premier et le second d'un angle de 60°, le second et le troisième d'un même angle de 60° et enfin le troisième et le premier d'un angle de 240° ont la même résultante quel que soit leur ordre, ce qui est manifestement faux. Cette seconde démonstration conduit donc au même résultat que la première.

Est-ce à dire cependant que l'idée de M. Held n'a aucune valeur? S'il n'en avait pas une, nous n'aurions pas écrit cet article, car il n'aurait servi qu'à lui montrer qu'il s'était trompé dans ses raisonnements.

Il est en effet possible de modifier très peu le dispositif du savant ingénieur américain pour obtenir le résultat voulu, mais seulement dans un cas particulier, celui où le décalage entre la tension et le courant est nul dans chacun des nouveaux circuits d'utilisation; ce n'est évidemment pas le cas le plus fréquent en pratique, mais il peut néanmoins être d'une grande utilité en pratique.

La figure 2 suggère la solution en question. On voit déjà que si la tension aux bornes, résultante des tensions E_1 E_2 et E_3 est dirigée suivant — E_3 E_3 et que par suite si le décalage entre la tension et le courant est nul, l'intensité du courant sera représentée par un vecteur en coïncidence de phase avec cette résultante. Dans ces conditions l'énergie empruntée par chaque circuit secondaire au transformateur sera la même sur deux des circuits du primaire et égale au quart de l'énergie totale débitée à ce circuit, et aura une valeur double de celle-ci sur le troisième. Pour qu'elle soit la même sur les trois circuits on voit qu'il suffit tout simplement de prendre le tronçon à inverser avec un nombre de spires ou une tension égale à la moitié de celle des deux autres.

La solution est dès lors très simple :

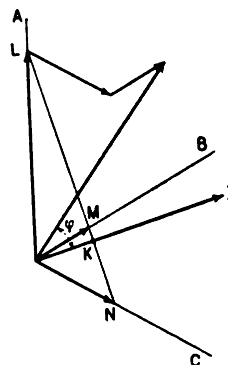


Fig. 3.

On partagera chaque enroulement secondaire d'un transformateur en cinq parties égales en laissant quatre des tronçons réunis deux à deux, puis on réunira en série deux tronçons doubles et un tronçon simple en inversant ce dernier. On obtiendra ainsi trois circuits dont la tension aux bornes sera les trois cinquièmes de celle des anciens circuits secondaires.

Chacun de ces nouveaux circuits traversé par des courants inégaux empruntera aux trois circuits primaires des quantités d'énergie égales respectivement à :

$$\frac{2}{5}\,\frac{E_m I'_m}{2}\,\text{Cos } 30^\circ$$
$$\frac{1}{5}\,\frac{E_m I'_m}{2}$$
$$\frac{2}{5}\,\frac{E_m I'_m}{2}\,\text{Cos } 30^\circ$$

quantités égales entre elles.

Le seul défaut qu'on puisse reprocher à ce dispositif est celui de réduire la puissance

des transformateurs aux trois cinquièmes de sa valeur, c'est-à-dire de 40 p. 100.

Le système précédent est susceptible d'une légère généralisation ; on peut en effet déterminer un groupement tel que la quantité d'énergie empruntée à chaque circuit primaire quel que soit le courant dans un des circuits secondaires transformés sous la condition que le facteur de puissance reste constamment le même.

Traçons trois directions à 60° OA, OB et OC des trois tensions composantes, et une direction quelconque OI qui sera celle du courant. Par un point k de cette droite élevons une perpendiculaire qui rencontre les directions OA, OB, OC respectivement en L, M, N. Si l'on partage chaque enroulement secondaire en trois parties proportionnelles aux longueurs OL, OM, ON, on peut avec les neufs circuits ainsi obtenus constituer trois circuits formés d'une partie proportionnelle à OL d'une proportionnelle à ON et d'une troisième, prise en sens inverse proportionnelle à OM. Si le décalage entre la tension aux bornes des nouveaux circuits secondaires et des courants est précisément égal à l'angle φ, l'énergie empruntée par chacun de ces circuits aux trois circuits primaires sera la même, quelles que soient les valeurs de l'intensité des courants secondaires.

La détermination géométrique des différents éléments de la figure par la seule connaissance de l'angle φ n'est peut-être pas très commode, mais on pourra toujours y arriver indirectement en suivant les variations des longueurs OL, OM, ON en fonction φ lorsqu'on fait pivoter la droite OI autour du point O et construisons les courbes représentatives de ces longueurs en fonction de φ.

Ce système de distribution compensée permet une parfaite régulation par simple variation du champ inducteur de la génératrice ; l'*Electrical World* ajoute même qu'il réduit le prix de la génératrice et le coût de la ligne, sans toutefois dire qu'il augmente considérablement (33 p. 100 environ dans le système Heldt et de 40 dans le système modifié) le prix des transformateurs récepteurs pour les circuits d'éclairage.

Moins la proportion d'éclairage prendra de place dans une distribution d'énergie, moins le système précédent augmentera les frais d'installation, mais moins aussi il sera utile. En somme le procédé rectifié de M. Heldt n'a qu'une valeur industrielle minime, et il y aurait lieu de rechercher, dans les distributions fortement déséquilibrées, un système non seulement plus général mais moins dispendieux.

C.-F. GUILBERT.

INSTALLATION A COURANTS DIPHASÉS DU LABORATOIRE DE L'ÉCOLE SPÉCIALE DE MONS [1]

IV. — CONVERTISSEUR SCHUCKERT A COURANTS DIPHASÉS

Le convertisseur de courants diphasés en courant continu et inversement peut aussi donner des courants alternatifs simples et des triphasés. Il fonctionne à l'occasion en génératrice ou en moteur simple. Il est du type bien connu dit « Schuckert » hexapolaire, à auto-excitation ou à excitation indépendante. Il a été décrit dans *L'Éclairage Électrique*, tome VIII, page 145.

V. — TRANSFORMATEURS FIXES A COURANTS DIPHASÉS

A. *Description.* — Les figures 20 et 21 représentent l'ensemble d'un transformateur.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* des 21 août et 9 octobre.

**

Le *circuit magnétique* est constitué par deux parties, le noyau rectiligne des bobines et la culasse en forme d'U. Le noyau est constitué par des tôles isolées au papier, de même longueur, mais de largeur différentes qui forment une portion de cylindre dont les segments extrêmes, trop difficiles à obtenir au moyen d'éléments minces en fer, sont deux solides en bronze. Ces segments et les tôles sont réunis entre eux par quatre rivets en fer isolés des éléments magnétiques par une gaine en carton. La culasse est en tôles minces isolées également au papier et maintenues par des nervures intérieures de l'enveloppe extérieure en fonte. Deux fortes vis, s'appuyant sur le couvercle de la boite, maintiennent une pression suffisante entre les deux parties du circuit magnétique en pressant sur les extrémités du noyau, au-dessus des joints.

L'enveloppe est une caisse en fonte ouverte par le haut, dont la partie inférieure est rétrécie pour l'emplacement de la culasse, et la partie supérieure élargie en arc de cercle pour recevoir les bobines. Il reste entre ses parois et le transformateur un espace vide de 10 mm environ pour l'huile isolante et la malfaçon. Aux extrémités, la partie rétrécie se continue en hauteur jusqu'au niveau de l'axe des bobines et elle se raccorde à la partie élargie par deux parois horizontales portant chacune une borne du circuit primaire ou du circuit secondaire. Comme l'indiquent les figures, les bornes primaires sont sur l'une des faces longitudinales, les bornes secondaires sur l'autre. Le couvercle est plan et réuni par de nombreux boulons à la caisse qui porte un collet spécial pour cette fixation et des nervures nombreuses formant un ensemble d'ailettes pour faciliter le refroidissement. Le couvercle porte aussi deux renflements intérieurs filetés pour le passage des deux vis de pression dont les têtes sont disposées de façon à permettre le levage facile de l'appareil.

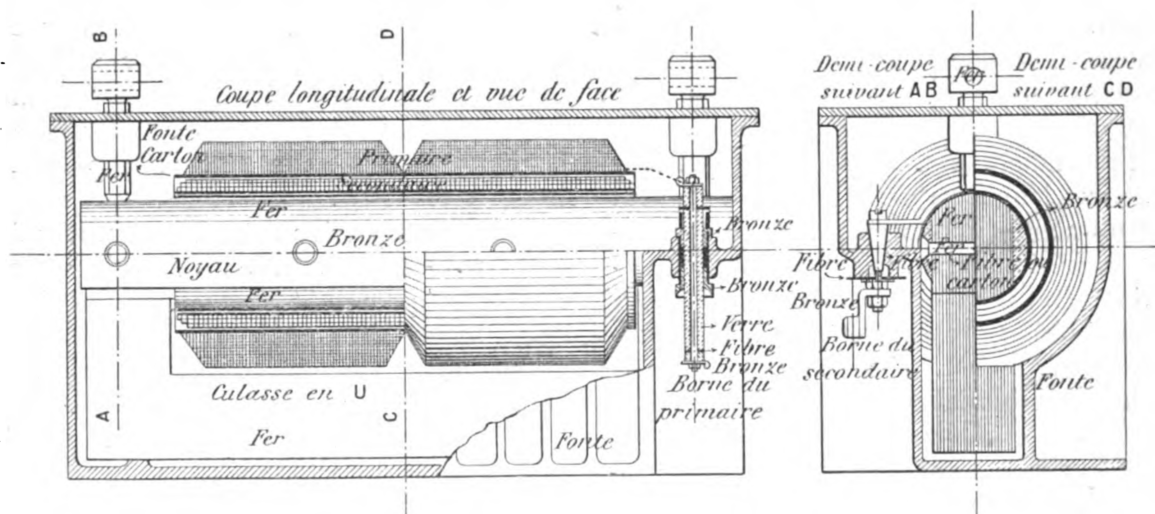


Fig. 20 et 21. — Transformateurs fixes à courants diphasés.

Les bornes du circuit primaire, que nous supposons être celui à haut voltage, passent dans des boites à étoupe en fonte, à presse-étoupe en bronze entourant un tube en verre isolant le fil primaire. Ce tube est séparé des liaisons extrêmes ou bornes proprement dites par des rondelles en fibre.

Les bornes du circuit secondaire comprennent un cône en bronze serré par l'intermédiaire d'une gaine en fibre dans une ouverture de l'enveloppe en fonte et relié par deux écrous de serrage à la patte de connexion du circuit extérieur.

Le circuit secondaire est enroulé sur une gaine de 3 mm d'épaisseur en carton entourant directement le noyau. Chaque couche du bobinage est isolée à la toile.

Le *circuit primaire* est formé de deux bobines enroulées sur une gaine de 4 mm d'épaisseur placée autour du premier circuit. Chaque couche est isolée par du papier isolant spécial.

Les *dimensions et les données des bobinages* sont indiquées sur les figures 22 et 23.

La longueur du circuit magnétique est de 132,6 cm, la section du noyau 58 cm^2 et celle de la culasse 48,5 cm^2; les tôles ont 0,5 mm d'épaisseur, elles sont séparées par du papier de 0,08 mm et elles pèsent au total 54 kg.

L'*enroulement primaire* à fil fin comprend 3300 spires en deux bobines à 17 couches de 105 à 89 spires; le fil de 1,4 mm de diamètre étant nu et 1,8 étant isolé, sa résistance électrique est de 24,3 ohms à 43° centigrades.

L'*enroulement secondaire* ou à gros fil est formé de 156 tours de fil de 6,6 mm de diamètre nu et 7,1 mm isolé; il comprend trois couches de 53 à 51 spires et sa résistance électrique est de 0,036 ohms à 43° centigrades.

Le rapport des nombres de spires des deux enroulements est 21,15.

Les transformateurs sont fournis pour une puissance de 2 500 watts. Les voltages normaux sont 75 et 1 580 volts.

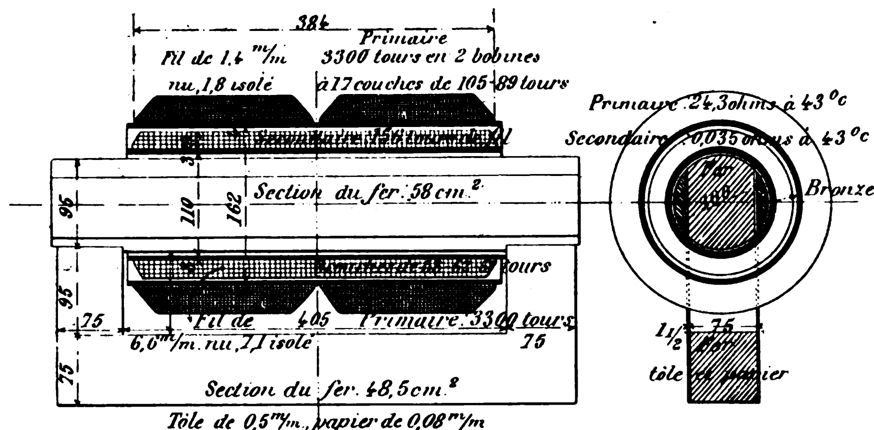


Fig. 22 et 23. — Détails des transformateurs.

B. *Résultats des expériences et des calculs.*

a). *Coefficients de self-induction de dispersion déterminés expérimentalement.* — On connaît les tracés graphiques de M. Kapp pour l'étude des transformateurs. Son innovation essentielle consiste à tenir compte des dispersions magnétiques en introduisant dans les valeurs à prendre en considération deux coefficients de self-induction spéciaux représentant la portion du flux par unité de courant qui traverse le circuit générateur sans passer par l'intérieur de l'autre circuit. En d'autres termes, c'est le flux de dispersion que chaque circuit produit pour un courant de un ampère.

Pour déterminer ces coefficients de self-induction, on ferme le circuit secondaire du transformateur T_2 (fig. 27) sur lui-même et un ampèremètre A_1 (le circuit des lampes L étant ouvert) et, la génératrice G tournant à la vitesse normale, on l'excite à l'aide de courants croissants, mais d'abord très faibles, jusqu'à ce que l'ampèremètre A_1 marque le courant normal. A ce moment, le secondaire a un voltage effectif sensiblement nul et le primaire prend à ses bornes un voltage que le voltmètre V_2 indique. Ce dernier voltage est assez élevé. On établit facilement que, si on suppose la dispersion égale pour les deux circuits, la force électromotrice

$$E_{s_1} = \omega L_{s_1} I_1$$

de dispersion du primaire est égale à

$$\frac{V_2}{2},$$

et celle

$$E_{s_2} = \omega L_{s_2} I_2$$

du secondaire à

$$\frac{V_2}{2} \times \frac{n_2}{n_1}.$$

n_2 et n_1 étant les nombres de spires des circuits.

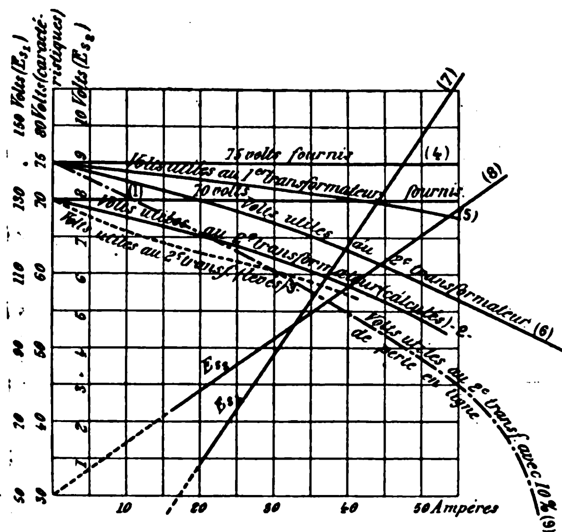


Fig. 24. — Caractéristiques.

Nous avons relevé les forces électromotrices de self-induction E_{s_1} et E_{s_2} pour des courants utiles A_1 variant entre 20 et 55 ampères, et nous avons tracé les courbes correspondantes n° 7 et 8 de la figure 24. On voit que ce sont sensiblement des droites, c'est-à-dire que, ***dans les conditions d'établissement connues, les transformateurs que nous décrivons, pour des courants très variables, ont des coefficients de self-induction de dispersion constants.***

Pour 35 ampères, sensiblement le courant normal, $E_{s_1} = 104$ et $E_{s_2} = 4{,}95$ volts.

Les coefficients de self-induction de dispersion sont ainsi, pour la fréquence 33 employée :

$$L_{s_1} = \frac{104}{\omega I_1} = \frac{104}{\omega I_2} \frac{n_2}{n_1} = 0{,}3 \text{ Henry}.$$

$$L_{s_2} = \frac{4{,}95}{208 \times 35} = 0{,}00068 \text{ Henry}.$$

Avec l'hypothèse admise que les dispersions du secondaire et du primaire sont égales, on doit trouver que le rapport des coefficients de self-induction est :

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = 445.$$

b). *Chute de tension au secondaire. Caractéristiques à 70 volts.* — Considérons le montage de la figure 27. G est la génératrice à bas voltage, T_1 un premier transformateur élevant la tension, de T_1 à T_2 la ligne, que nous prendrons de longueur inappréciable

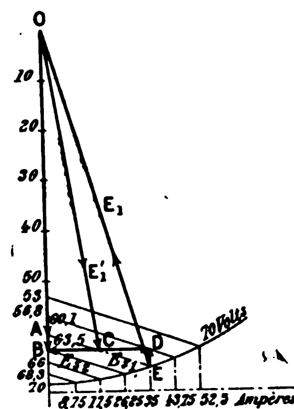


Fig. 25. — Epure simplifiée des forces électromotrices des transformateurs, sans ligne intermédiaire. Alimentation sous 70 volts,

(cas d'un laboratoire) T_2 un second transformateur abaissant la tension et L un circuit

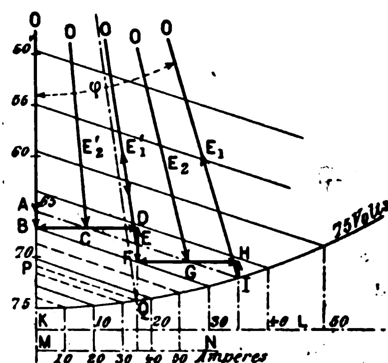


Fig. 26. — Épure des forces électromotrices des transformateurs sans ligne intermédiaire. Alimentation sous 75 volts.

de lampes formant résistances sans self-induction. Le voltage normal de la génératrice est

de 75 volts, mais pour ne pas dépasser en L le voltage des lampes à incandescence, nous marchons à 70 volts.

A 70 volts constants en G, nous obtenons en L les tensions données par la courbe 3, en pointillé, de la figure 24, qui représente la caractéristique de l'ensemble des deux transformateurs en fonction des courants utiles débités aux lampes.

Appliquons le tracé de M. Kapp pour voir jusqu'à quel point sa méthode nous permettrait de prévoir la caractéristique n° 3 après avoir déterminé les coefficients de self-induction de dispersion.

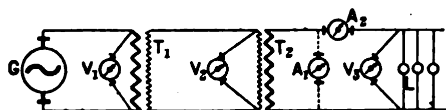


Fig. 27. — Schéma des circuits de deux transformateurs.

La figure 26 représente ce tracé pour une tension constante de 75 volts à la génératrice. Toutes les lignes obliques en gros traits concourent vers un point O.

Le triangle des forces électromotrices dans le secondaire du transformateur T_2 est OBC. OC est la force électromotrice d'induction du flux résultant dù aux forces magnétomotrices primaire et secondaire, CB est la force électromotrice de self-induction de dispersion du secondaire et OB est la force électromotrice effective dont la portion AB est absorbée par la résistance ohmique intérieure. OA est donc la force électromotrice aux bornes, utile, disponible aux lampes.

Le polygone OCDEO est celui des forces électromotrices du primaire du même transformateur, OE, OC et CD sont respectivement les forces électromotrices appliquée par T_1, d'induction du flux résultant et de self-induction de dispersion du primaire, toutes réduites dans le rapport $\frac{n_2}{n_1}$. DE, leur résultante, est la force électromotrice effective qui vainc la résistance R'_1 : elle est égale à $R'_1 I'_1$.

Le polygone OEFGHIO représente les forces électromotrices du premier transformateur T_1. OI est la force électromotrice de la génératrice : c'est donc, à l'échelle, 75 volts.

Nous avons expliqué le graphique de la figure 26, quoiqu'il soit fait pour 75 volts, parce qu'il est plus complet que celui de la figure 25, exécuté pour 70 volts, et qui nous intéresse seul en ce moment.

Dans ce dernier, BD, somme des forces électromotrices de self-induction de dispersion pour les deux transformateurs, est égale à 4 fois E_{s_2} à l'échelle des forces électromotrices du secondaire, c'est, pour 35 ampères utiles :

$$4{,}95 \times 4 = 19{,}8 \text{ ou } 20 \text{ volts};$$

OE = 70 volts et A B + D E, somme des forces électromotrices effectives pour les quatre enroulements, en tenant compte des coefficients de rendement et de puissance pour la détermination des courants autres que 35 ampères, est sensiblement de 7 volts. Ces données permettent d'obtenir facilement la figure OEDBAO à l'échelle. Elle donne, comme le calcul (qui est très facile) 60,1 volts pour force électromotrice aux bornes ou OA. En partant de ce que la force électromotrice de self-induction BD est proportionnelle au courant, on peut faire que BD représente en même temps 35 ampères à une autre échelle, indiquer une échelle des ampères, et, par un système de verticales prolongées jusqu'à la circonférence et d'obliques parallèles à AE (car AB + DE varie aussi proportionnellement aux courants) obtenir la tension aux bornes des lampes pour des courants débités variables. En portant en ordonnées les nombres 70 — 68,3 — 66 — 63,5 — 60,1 — 56,8 — 53 ainsi déterminés, nous arrivons à la courbe 2 de la figure 24 qui est plus élevée que la courbe 3 relevée sur les appareils. L'horizontale 1 représente les 70 volts fournis pour tous les régimes.

Comme on le voit sur la figure, la tension relevée aux bornes diffère d'une quantité un peu variable de la tension déterminée par le tracé et elle est de 3,1 p. 100 à 35 ampères. Pour nous rendre compte de cette différence,

essayons de calculer les coefficients de self-induction de dispersion. Nous conclurons après cet essai.

c) *Essai de calcul des coefficients de self-induction de dispersion.* — La figure 29 montre schématiquement la disposition du transformateur, de ses circuits magnétiques et électriques et de ses lignes de force. Les deux courants primaire et secondaire étant sensiblement opposés (différant de phase de 180°), leurs lignes de force ont les directions 1, 2, 3 et 1', 2', 3'. Elles sont opposées dans le noyau et la culasse et de même sens entre les deux enroulements en 3-3'. *Les flux de dispersion* ont donc la direction 3 — 1 pour le secondaire et 3' — 2' pour le primaire.

Dès lors, il suffit de connaître les forces magnétomotrices et les reluctances de ces flux pour pouvoir les calculer.

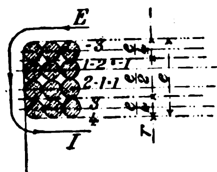


Fig. 28. — Coupe d'une bobine. Forces magnétomotrices dans sa masse.

Les forces magnétomotrices sont connues ; ce sont celles des enroulements pour un cou-

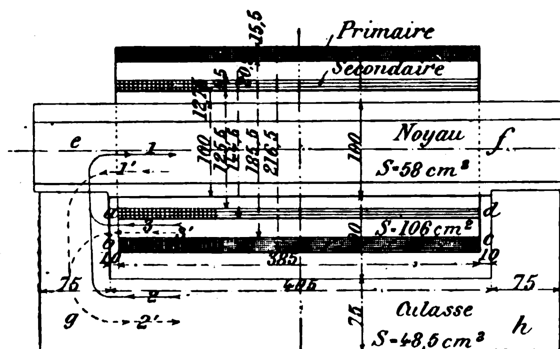


Fig. 29. — Schéma d'un transformateur et de ses circuits magnétiques.

rant usité, ou mieux, comme nous l'avons supposé, pour un courant de 35 ampères au secondaire. Quant aux reluctances, elles sont faciles à évaluer. La figure 28 donne la coupe d'une bobine dont I est la partie intérieure, E la partie extérieure et EI le parcours des lignes de force. Soit 4 la force magnétomotrice intérieure et extérieure. La force magnétomotrice intérieure est 3 dans la première couche de fil. (Il reste 3 couches autour d'elle), 2 — 1 = 1 dans la deuxième, 1 — 2 = — 1 dans la troisième et — 3 dans la quatrième. Elle est donc nulle au milieu et on peut admettre, pour le calcul de la reluctance intérieure, qu'elle est 4 uniformément jusqu'au quart de l'épaisseur. Et ainsi, pour calculer le flux, il faudra supposer que le rayon intérieur r est augmenté du quart de l'épaisseur de l'enroulement e.

De même, si on voulait déterminer le flux extérieur en E, il faudrait diminuer le rayon extérieur $r + e$ de $\frac{e}{4}$. Dans cette hypothèse, le schéma des enroulements peut être celui de la figure 29, où leur épaisseur est réduite de moitié.

Nous trouvons ainsi les reluctances suivantes :

Espace 3 — 3' situé entre les bobines,

$$R = \frac{l}{s} = \frac{40,5}{106} = 0,382$$

Noyau, pour un flux moyen de 20000 C. Gr. S.,

$$R' = \frac{63}{680 \times 58} = 0,0016$$

Culasse, pour un flux moyen de 20000 C. G. S.,

$$R'' = \frac{58}{720 \times 48,5} = 0,0017.$$

Les deux reluctances ont donc sensiblement pour valeur 0,384 unité C. G. S.

Remarquons qu'en marche normale, le flux augmentant dans le circuit magnétique, l'induction s'approche de celle qui correspond au maximum de perméabilité et la dispersion ne peut qu'augmenter.

Les flux de dispersion pour les courants normaux sont ainsi, avec assez d'approximation :

$$\varphi = \frac{4\pi n_2 I_2}{10 \times 0,384} = \frac{1,256 \times 156 \times 35}{0,384} = 18000 \text{ C.G.S.}$$

Et la force électromotrice de self-induction

$$E_{s_2} = \omega n_2 \varphi = 208 \times 156 \times 18000 = 5{,}85 \text{ volts.}$$

Cette valeur est un peu plus élevée que celle (5 volts) relevée expérimentalement, mais la différence s'explique parfaitement par l'approximation forcée du calcul et les dimensions plus ou moins irrégulières des enroulements. Tel qu'il est, *le résultat du calcul est étonnant d'exactitude en comparaison des résultats expérimentaux.*

Etant plus élevé que celui de l'essai, il donne une force électromotrice aux bornes plus approchée. On aurait, à la figure 25, $BD = 5{,}85 \times 4 = 23{,}4$,

$$OA + AB + DE = \sqrt{70^2 - 23{,}4^2} = 65{,}9 \text{ volts,}$$
$$OA = 65{,}9 - 7 = 58{,}9 \text{ volts.}$$

La différence entre les courbes 2 et 3 de la figure 24 ne serait plus ainsi que de 1 volt sur 70 volts à 35 ampères. Elle devient 0,5 volt en tenant compte du flux exact φ du primaire qui est un peu peu plus fort que celui du secondaire et qui donne $BD = 24{,}7$ volts.

La différence plus grande vers l'origine entre les caractéristiques 2 et 3 semble provenir de ce qu'à ce moment la perméabilité du métal est maximum et les flux perdus plus importants.

Remarque. — Nous ne connaissons pas d'exemple de calcul de coefficient de self-induction de dispersion. Nous tenons à faire observer qu'il est cependant d'un intérêt majeur, dans les cas analogues, d'essayer de pousser le calcul dans ses dernières limites. Tout le monde y gagne, le théoricien comme le praticien, le professeur comme l'élève. Au reste, si l'étude des effets en cause est bien conduite, l'effort que l'on fait est presque toujours couronné de succès.

d). *Caractéristiques sous 75 volts normaux constants à la génératrice.* — La figure 26 donne les tracés qui déterminent les volts aux secondaires des transformateurs sous alimentation à 75 volts (voltage normal de construction) constants à la génératrice. En augmentant DEF de la perte permise en ligne, entre les deux transformateurs, on aurait le voltage au dernier transformateur en y comprenant cette perte de charge. La figure 24 présente les caractéristiques 5, 6 et 9 correspondant aux diverses hypothèses. La courbe 5 donne par différence avec 4 la chute de tension au premier transformateur; la courbe 6 donne cette chute pour les deux transformateurs et pour le deuxième par ses différences avec 5.

On voit que la chute de tension du second est plus forte à cause des décalages plus importants entre les forces électromotrices et les courants, comme l'indique le tracé 26. Enfin la courbe 9 donne le voltage au deuxième appareil en adoptant 10 p. 100 de perte en ligne. La chute de tension est très rapide dans ce dernier cas.

Les trois dernières caractéristiques sont tracées en comptant sur les coefficients de self-induction relevés expérimentalement. Elles

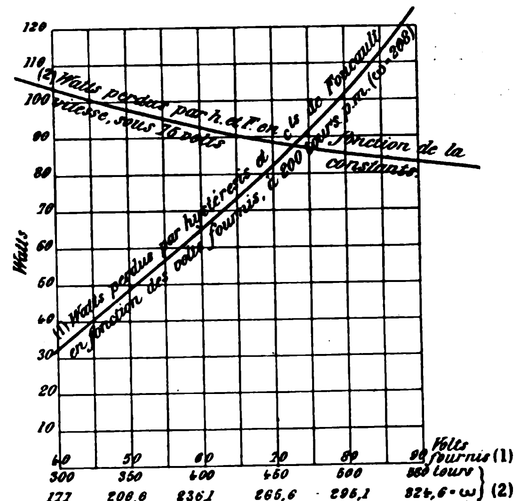


Fig. 30. — Pertes par hystérésis et courants de Foucault.

présentent un grand intérêt quant aux chutes de tension, en valeur absolue, pour le cas de l'alimentation de lampes à incandescence, et surtout en valeur relative parce qu'elles permettent d'étudier la variation du voltage d'alimentation qui donnerait une tension constante aux bornes du circuit d'utilisation.

e). *Pertes par hystérésis et courants de Foucault.* — La figure 30 donne par sa courbe 1 les watts dépensés dans un transformateur alimenté à fréquence ($n = 33$) constante et voltage fourni variable. A 75 volts elle est de 92 watts.

Le calcul donne :

$$\Phi_{eff} = \frac{V \times 10^8}{n_2 \omega} = \frac{70 \text{ moyen} \times 10^8}{156 \times 208} = 216\,000.$$

$$B_{eff} = \frac{216\,000}{58 \text{ à } 48{,}5} = 3707 \text{ à } 4454$$

$$B_{max} = 5227 \text{ à } 6280$$

Volumes de fer = 3277 et 3613 cm³

$$p = V_1 a \frac{\omega}{2\pi} B_1^{1,6} + V_2 a \frac{\omega}{2\pi} B_2^{1,6}$$

$$= 0{,}003 \text{ à } 0{,}0045 \times 33\,(3277 \times 10^6 + 3613 \times 1{,}28 \times 10^6) \times 10^{-7} = 79 \text{ à } 118 \text{ watts},$$

soit 98 watts en moyenne.

On voit qu'ici encore le calcul et l'expérience conduisent à des résultats comparables.

La même figure donne la perte en watts par les mêmes effets pour 75 volts constants et une fréquence variable de 28 à 51.

La perte va en baissant parce que la diminution produite par la chute de l'induction spécifique est plus forte que l'augmentation due à l'accroissement de la fréquence.

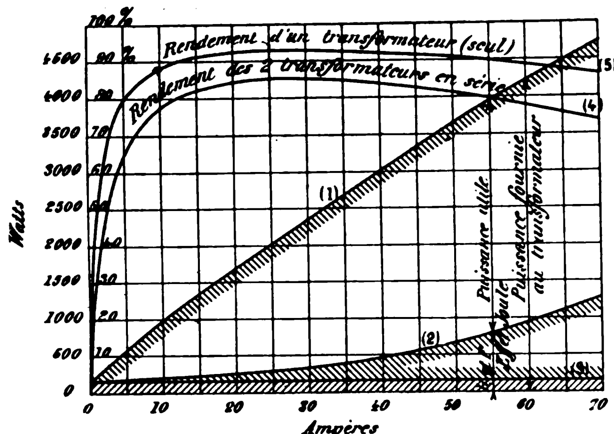


Fig. 31. — Courbes des puissances et des rendements industriels.

f). *Courbes des puissances et des rendements industriels.* — La courbe 3, figure 31, indique la perte par hystérésis et courants de Foucault pour les deux transformateurs réunis, travaillant en série, sans résistance intermédiaire, au voltage de 75 volts à la génératrice et à la fréquence 33. La courbe 2 donne les pertes totales et, par différence avec la courbe 3, les pertes par effet Joule seulement. La courbe 1 fournit directement les puissances totales dépensées et, en en retranchant les ordonnées de la courbe 2, les puissances utiles.

Les rapports des puissances utiles aux puissances totales produisent les rendements des deux appareils tels que les indique la ligne 4 dont le maximum correspond à 85,2 p. 100. La racine carrée de ces rendements donne ceux d'un seul transformateur. Le maximum est de 93 p. 100 et il correspond à une puissance de 2 010 watts. Pour 2 500 watts utiles, le rendement est encore de 91,5 p. 100. Enfin il passe par 90 p. 100 aux puissances de 900 et 3 200 watts utiles.

Quant aux décalages du courant sur la force électromotrice primaire et aux facteurs de puissance du premier transformateur, ils sont :

Courant débité aux lampes	10	20	30	40	50	60	70	amp.
Puis. utile.	724	1400	2010	2532	2950	3270	3430	watts
Décal. φ.	4,5	9	13,2	17,8	2[illegible],5	27,2	32,6	deg.
Facteur de puiss. cos φ.	0,997	0,998	0,964	0,955	0,924	0,891	0,847	

(*A suivre.*)

S. Hanappe.

ENDOSMOSE ÉLECTRIQUE [1]

IV. Interprétation mécanique des phénomènes

2. Théorie de von Helmholtz

Les données expérimentales : constitution des dissolutions, réactions intérieures, forces attractives ou répulsives entre les molécules, coefficient de frottement, vitesse des molécules, font défaut pour suivre les mouvements des molécules et pour établir sur ces bases les liaisons nécessaires à une solution analytique du problème.

Von Helmholtz (*Ann. de Wiedem.*, N. F., t. VII, 1879, p. 351), renonçant à prendre pour objet de l'analyse les molécules du système, conserve l'idée fondamentale d'un transport et l'hypothèse de l'action d'une force due à une différence de potentiel entre le liquide et la paroi du tube, hypothèse émise et développée par M. Quincke (*Ann. Pogg.*, t. CXIII, p. 583, 585 et suivantes). Von Helmholtz considère alors la masse entière du liquide contenu dans le tube, et suivant une méthode analogue à celle qu'avait adoptée Ampère dans l'étude de l'électromagnétisme, cherche à déduire la valeur des composantes de l'observation des effets d'une résultante expérimentale.

L'ensemble des considérations précédentes est l'application au problème actuel de l'hypothèse fondamentale de la couche double : quand un liquide est en équilibre mécanique et électrique dans un tube étroit, la surface interne du tube est revêtue d'une couche d'électricité négative, la surface du liquide est recouverte d'une couche d'électricité positive ; l'ensemble constitue une couche double dont l'épaisseur est très faible, sans être négligeable.

Si des forces extérieures agissent sur le liquide et le poussent à travers le tube, la couche en contact avec la paroi adhère à cette paroi et forme une gaîne à l'intérieur de laquelle s'écoule le filet liquide, entraînant avec lui une partie de la couche positive. Pour suivre l'effet des forces, il suffit de partager la masse totale en éléments infiniment petits sur lesquels agissent simultanément les forces extérieures et les forces électriques résultant de l'existence de la couche double.

L'analyse peut être suivie et développée dans le cas où le tube est droit, de même diamètre dans toute son étendue, assez étroit par rapport à la longueur pour que chaque filet se meuve parallèlement à l'axe, assez long pour que le frottement soit exercé dans toute sa longueur et pour que le régime permanent s'établisse comme le fait aurait lieu dans un tube indéfini.

Il suffit de partager la masse totale en masses élémentaires limitées par la paroi du tube et deux plans perpendiculaires à l'axe infiniment rapprochés, d'exprimer les forces électriques et les forces dues à la différence de pression qui agissent sur l'élément considéré, et d'exprimer les conditions qui doivent être satisfaites pour que le régime permanent soit atteint.

L'intégration de l'équation relative à la masse élémentaire établit les relations cherchées entre le débit et les données du problème.

Trois cas correspondant aux expériences de MM. G. Wiedemann. Quincke et Tereschin sont étudiés par von Helmholtz :

1° La force électromotrice existe seule, la différence de pression hydrostatique est nulle ;

2° Une force électromotrice extérieure agit sur le liquide, l'effet est équilibré par une pression ;

3° Le liquide est mû par une pression

***

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* des 9, 16, 23, 30 octobre et 13 novembre, p. 49, 106, 148, 208 et 313 de ce tome.

hydraulique, aucune force électromotrice extérieure n'existe.

Les résultats théoriques sont comparés aux résultats des expériences.

I. *Changement d'équilibre produit par une force électromotrice. — Différence de pression hydraulique nulle. — Méthode dynamique.*

S'il n'existe aucune différence de pression entre les extrémités du tube, si une force électromotrice E maintient une différence de potentiel constante entre les deux extrémités du tube, les couches superficielles du liquide chargées d'électricité positive sont repoussées dans le sens des potentiels décroissants, une certaine quantité de liquide se trouve entraînée dans la direction du courant électrique.

La quantité totale de liquide U traversant la section est, d'après von Helmholtz, en désignant par :

I l'intensité du courant ;

ρ la résistance électrique du liquide;

K le coefficient de frottement intérieur du liquide;

S la section du tube;

L la longueur du tube;

φ_i le potentiel de la couche électrique entraînée sur le liquide;

φ_a le potentiel de la couche électrique fixe sur le tube ;

$$U = \frac{I\rho}{4\pi k^2}(\varphi_i - \varphi_a) \qquad (15)$$

et comme

$$E = \frac{I\rho L}{s} \qquad (16)$$

$$U = \frac{sE}{4\pi k^2 L}(\varphi_i - \varphi_a) \qquad (17)$$

Les résultats trouvés par von Helmholtz, en supposant le tube droit, sont indépendants de la grandeur et de la forme de la section du tube, les conclusions peuvent être étendues à un ensemble de canaux étroits enchevêtrés d'une manière quelconque dans une masse solide, par suite à une paroi poreuse. Les équations (16) et (17) sont applicables aux diaphragmes. L'accord des résultats expérimentaux obtenus par M. G. Wiedemann (*loc. cit.*) et des conséquences déduites par von Helmholtz de l'hypothèse de la couche double, est démontré dans le tableau suivant :

Lois expérimentales établies par M. Wiedemann en adoptant les notations de von Helmholtz.	Conséquences déduites de l'hypothèse de la couche double par von Helmholtz.
$U = C^{te}\, I\rho$	$U = \frac{I\rho}{4\pi k^2}(\varphi_i - \varphi_a)$
U est indépendant de l'épaisseur et de la section.	
or $\frac{I\rho L}{s} = E$	
donc $U = C^{te}\frac{Es}{L}$	$U = \frac{Es}{4\pi k^2 L}(\varphi_i - \varphi_a)$

On voit que les résultats communs aux deux séries de recherches sont :

1° Expression du débit en fonction de l'intensité.

Proportionnalité du débit à l'intensité du courant ;

Proportionnalité du débit à la résistance ;

Débit indépendant de la surface et de l'épaisseur du diaphragme.

2° Expression du débit en fonction de la force électromotrice.

Proportionnalité du débit à la force électromotrice;

Proportionnalité du débit à la surface du diaphragme ;

Débit inversement proportionnel à l'épaisseur du diaphragme.

La théorie de von Helmholtz fait entrer en compte l'influence du frottement, et, résultat beaucoup plus remarquable, permet de déduire des expériences de M. G. Wiedemann la différence de potentiel qui existe entre les deux surfaces dont l'ensemble constitue la couche double.

Le tableau suivant contient les valeurs des différences $\varphi_i - \varphi_a$ déduites par von Helmholtz des expériences de M. G. Wiedemann (*Ann. Wiedemann*, t. VII, 1879, p. 358). Les valeurs de $\varphi_i - \varphi_a$ sont évaluées en Daniells.

1000 CENT. CUBES de dissolution contiennent :	VOLUME du liquide transporté.	QUANTITÉ de métal déposé.	RAPPORT des durées d'écoulement de quantités égales de liquide et d'eau.	RÉSISTANCE spécifique du liquide par rapport à celle du platine = 0,001.	$\varphi_i - \varphi_a$ en Daniells.
			Acide sulfurique.		
SO^3 . 76,56mgr	2800	3770	1,166	179,0	1,667
47,36	1510	1174	1,095	289,3	1,677
			Sulfate de cuivre.		
149,38	13090	1181	1,417	2247	2,408
97,544	12210	904	1,238	3076	1,873
89,125	15930	923	1,213	3258	2,214
			Azotate de cuivre.		
82,258	3010	1453	1,138	1434	0,5665
71,852	4360	1903	1,118	1559	0,5661
64,037	6100	1977	1,103	1695	0,6917
42,010	2540	550	1,061	2409	0,7009
			Azotate d'argent.		
79,74	5730	2239	1,014	1879	1,626
79,46	7600	2765	1,014	1878	1,744
29,867	12955	1342	1,003	4656	2,533

II. *Force électromotrice équilibrée par une pression. — Méthode statique.*

Le liquide considéré est dans un tube droit, de section circulaire, incliné sur l'horizon, communiquant avec un réservoir de forme quelconque. Le liquide peut se déplacer dans le tube. La pression correspondant au déplacement fait équilibre à l'action électrique.

L'application de la méthode précédente amène von Helmholtz au résultat suivant :

P représentant la différence de pression hydrostatique ;

R représentant le rayon du tube ;

E représentant la différence de potentiel établie entre deux points du tube.

$$\frac{\pi}{2} PR^2 = E(\varphi_i - \varphi_a) \qquad (18)$$

L'équation de von Helmholtz est établie dans le cas d'un tube indéfiniment long, à l'intérieur duquel le liquide peut s'avancer, mais dont le liquide ne peut s'échapper. Les parois poreuses que l'on voudrait assimiler à un ensemble de tubes capillaires sont limitées et partagent un vase en deux compartiments, l'un employé comme réservoir, l'autre comme récipient. Le liquide passe dans le réservoir à travers le canal creusé dans la paroi, et s'échappe de ce canal; la différence de pression entre le récipient et le réservoir s'établit par le déversement du liquide dans le réservoir, après la sortie des canaux. Le cas n'est pas le même que celui du problème de von Helmholtz; les conclusions de von Helmholtz ne peuvent pas être appliquées directement au problème traité expérimentalement par M. G. Wiedemann. Sans prétendre trouver dans les expériences de M. G. Wiedemann, par la méthode statique, la vérification des conclusions de von Helmholtz, on peut dire que les résultats des expériences de M. G. Wiedemann sont d'accord avec ceux de von Helmholtz, que dans les deux cas la proportionnalité de la pression de la force électromotrice est établie.

Les résultats du calcul de von Helmholtz sont, par contre, directement comparables aux conclusions des expériences de M. Quincke et de M. Tereschin et permettent d'en suivre tous les détails.

Les équations déduites de l'expérience par M. Quincke et M. Tereschin et de l'hypothèse de la couche double par von Helmholtz sont :

M. Quincke. M. Tereschin. Von Helmholtz.

$$\frac{h \sin \varphi}{22.9} = \frac{nb}{R^2} \quad h \sin \varphi = \frac{300\ P_\nu\ b}{1,9\ R^2} \quad \frac{\pi}{2} PR^2 = E(\varphi_i - \varphi_a)$$

La valeur de la constante b est la même dans les expériences de M. Quinke et de M. Tereschin en remarquant que $h \sin \varphi$ est proportionnel à la variation de pression, que P_ν est la différence de potentiel entre les électrodes dans la formule de M. Tereschin, que la force électromotrice est proportionnelle au nombre des éléments dans la formule de M. Quincke les équations peuvent être mises sous la forme :

$$P = c\frac{E}{R^2} \quad P = c\frac{E}{R^2} \quad P = \frac{2}{\pi}\frac{E}{R^2}(\varphi_i - \varphi_a)$$

dans lesquelles P représente la pression.

Les conclusions sont les mêmes, dans les trois cas : la pression du liquide est proportionnelle à la force électromotrice et inversement proportionnelle au carré du rayon.

Calcul du moment de la couche double. — Les expériences de M. Quincke et de M. Tereschin permettent de calculer le moment de la couche douche double $\varphi_i - \varphi_a$; le calcul a été fait par von Helmholtz pour le cas de l'eau dans le verre ; le tableau suivant renferme les valeurs de la même quantité déduite des données numériques des deux auteurs. Les résistances sont empruntées au mémoire de M. Tereschin, les densités des liquides employés par les auteurs n'étant pas indiquées dans les mémoires, le calcul des valeurs $\varphi_i - \varphi_a$ a été fait en prenant les densités à 100° dans l'Agenda du chimiste :

	DENSITÉS	RÉSISTANCES spécifiques.	VALEURS de b.	$\varphi_i - \varphi_a$ en Daniells.	AUTEURS
Eau.		4722.10^6	0,000061	3,9346 D	M. Quincke.
			0,000055	3,548	M. Quincke.
			0,0000536	3,457	M. Tereschin.
Alcool méthyliq.	0,79589	6365.10^6	0,0000244	1,574	M. Tereschin.
Alcool éthylique.	0,79433	23350.10^6	0,0000165	1,0643	M. Tereschin.
			0,000034	2,1935	M. Quincke.

On voit que la valeur de $\varphi_i - \varphi_a$ diminue quand la résistance du liquide considéré augmente. Le même fait a été observé par von Helmholtz dans le cas du passage de dissolution de chlorure de sodium inégalement concentrée dans des tubes de verre.

Les valeurs du moment de la couche double indiquent seulement le sens de la variation.

Comparaison des lois établies par l'expérience et des lois déduites de la théorie. — L'influence de la longueur de la colonne liquide soumise à la différence de potentiel, l'effet des variations de section pouvaient être facilement étudiés avec la disposition expérimentale de M. Quincke.

Les recherches ont été faites en partageant le tube dans sa longueur en plusieurs régions dont les limites sont désignées par des indices 1, 2, 3, 4. Les électrodes fixées aux limites des régions sont désignées par les indices correspondants.

Le courant traverse le liquide dans le sens des indices croissants, les déplacements sont représentés par la lettre D, affectée d'indices

correspondant aux électrodes, les débits par la lettre U. W est la quantité $\frac{8k^2L}{\pi R^4}$, les indices indiquent les limites de la région à laquelle appartiennent les lettres du second terme.

La comparaison des résultats de l'expérience et de ceux de la théorie sont réunies dans le tableau suivant; la première colonne contient le résultat des expériences de M. Quincke.

Lorsque les différences de potentiel sont produites par la décharge des bouteilles de Leyde, l'accord des résultats observés et calculés a lieu dans le cas seulement où la durée de la décharge est augmentée par l'interposition, sur le trajet de la décharge, de tubes remplis de liquide, placés entre la batterie et les électrodes. Les résultats comparatifs sont relatifs aux expériences faites avec cette disposition.

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX DE M. QUINCKE

Toutes choses égales d'ailleurs.

Les déplacements sont :

1° Proportionnels aux quantités d'électricité (*loc. cit.*, p. 560);

2° Proportionnels à la résistance électrique.

RÉSULTATS THÉORIQUES DE VON HELMHOLTZ

U représentant la quantité de liquide qui traverse la section droite du tube pendant l'unité de temps, I étant l'intensité du courant de décharge

$$M = \int I dt$$

$$\varphi = \varphi_i - \varphi_a$$

$$\int U dt = \frac{W_{2-3}}{W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4}} \times \frac{M \rho \varphi}{4\pi k}$$

on voit que

$\int U dt$ est proportionnel à M et à ρ.

1° *Loi des longueurs.*

Toutes choses égales d'ailleurs.

Les déplacements sont proportionnels à la longueur de la colonne liquide traversée par l'électricité (*loc. cit.*, p. 526).

$$D_{2-5} + D_{5-3} = D_{2-3}$$ (*loc. cit.*, p. 367).

2° *Loi des sections.*

Deux tubes de même longueur dont les diamètres sont : 0,8908 mm 0,542 mm, sont placés à la suite l'un de l'autre, le rapport des sections est 2,765; le plus large est le plus éloigné du réservoir; le rapport des déplacements du liquide produits par une même différence de potentiel est 16,17.

Le rapport des déplacements calculés avec les équations de von Helmholtz est 6,9. La différence entre les résultats observés et calculés est notable, von Helmholtz l'attribue aux différences de section du tube dans son étendue.

3° *Déplacement du liquide à travers des tubes annulaires.*

Un canal annulaire est constitué par l'espace compris entre la paroi interne d'un tube et une baguette pleine posée à l'intérieur du tube; M. Quincke a constaté en étudiant le déplacement de l'eau dans un pareil canal, par l'établissement d'une différence de potentiel, en deux points du liquide, des variations considérables dans la grandeur des déplacements par le changement d'étendue de la surface de frottement. La grandeur des déplacements observés dans les canaux constitués par des tubes et des baguettes de verre, de rayon donné, sont consignés dans son mémoire (*loc. cit.*, p. 530, 544).

Les déplacements de liquide dans des tubes de dimensions employées par M. Quincke ont été calculés par von Helmholtz, en partant des hypothèses fondamentales indiquées par la méthode dont les principes ont été donnés plus haut.

Les résultats calculés sont rapprochés des résultats observés par M. Quincke dans le tableau suivant donné par von Helmholtz (*loc. cit.*, p 365):

DIAMÈTRES		DÉPLACEMENTS	
du tube en millimètres.	de la baguette de verre en millimètres.	observé.	calculé.
0,799	0,341	23,75	30,06
0,897	0,341	9,957	10,25
0,897	0,651	57,37	44,66
0,897	0,727	70,41	92,80

La différence entre les résultats observés et calculés est en général assez grande; mais il faut remarquer que les différences sont tantôt positives, tantôt négatives; que les diamètres du tube et de la baguette n'ont pas la même valeur dans toute leur étendue, que la ligne de contact de la baguette et du tube n'est pas une génératrice comme von Helmholtz a dû le supposer dans l'analyse. On ne peut pas, si l'on tient compte de ces observations, attendre un accord plus satisfaisant entre les deux groupes de résultats, et espérer obtenir une fonction donnant un résultat plus précis que la marche générale du phénomène.

4° *Mouvement des liquides dans les tubes.*

M. Quincke a suivi le mouvement des liquides à l'aide de grains d'amidon tenus en suspension dans le liquide. La position des grains était observée avec un microscope pendant la décharge d'une machine électrique (*loc. cit.*, p. 568). Lorsque le courant entre et sort par la partie médiane 2-3 du tube, les grains d'amidon cheminent vers la paroi dans le sens du courant d'électricité positive, et dans le milieu du tube dans le sens du courant d'électricité négative (p. 569).

Von Helmholtz déduit des équations posées par lui (*loc. cit.*, p. 367) l'existence de deux déplacements inverses du liquide.

III. *Liquide mû par une pression hydraulique, aucune force électromotrice extérieure n'existe.*

La pression entraîne le liquide et la couche de liquide électrisé située dans le voisinage de la paroi, à une distance suffisante pour ne pas adhérer à la paroi. L'équilibre électrique des couches liquides en mouvement n'est pas modifié tant que les éléments des couches liquides se meuvent avec des vitesses égales parallèles à l'axe des tubes. Au delà de l'extrémité du tube, les couches liquides, ou bien demeurent auprès du bord où elles sont pressées les unes contre les autres par suite de la diminution de vitesse du courant, ou bien sont entraînées loin du bord par le mouvement de tournoiement.

Dans les deux cas, leur charge positive est totalement ou partiellement soustraite à l'attraction de la couche négative du bord et devient libre.

D'un autre côté, de nouvelles couches s'avancent vers l'entrée du tube. Comme le bord est déjà chargé négativement, ces couches empruntent de l'électricité positive au reste du liquide et laissent ce liquide chargé d'électricité négative.

Les masses électriques, l'une négative, accumulée au commencement du tube, l'autre positive, accumulée au delà de l'extrémité opposée, tendant à se neutraliser, en partie par l'intermédiaire de la colonne liquide du tube, en partie par toute autre conductibilité qui leur est offerte, un courant galvanique se produira donc dans le tube. Si aucune dérivation n'existe, une différence de potentiel s'établira entre les extrémités du tube, jusqu'à ce qu'il s'écoule, par la conductibilité autant d'électricité que la convection des molécules en produit.

L'expression analytique des faits précédents est relativement facile par la méthode indiquée plus haut, dans le cas d'un tube droit de même diamètre dans toute son éten-

due, assez étroit par rapport à la longueur pour que chaque filet se meuve parallèlement à l'axe, assez long pour que le frottement soit exercé dans toute la longueur et que le régime permanent s'établisse comme il aurait lieu dans un tube indéfini.

Le développement analytique a été fait par von Helmholtz (*loc. cit.*, p. 369-372). Von Helmholtz évalue : 1° la quantité d'électricité M_0 entraînée pendant l'unité de temps, à travers la section du tube, par le courant, par suite de l'existence de la couche double formée à la surface de séparation du verre et du liquide ;

2° La quantité d'électricité M_1 qui pendant l'unité de temps traverse la même section, par suite de l'accumulation des charges de signes contraires aux extrémités du tube ;

3° Exprime qu'à partir de l'instant où le régime permanent est atteint, les deux quantités M_0 et M_1 sont égales et de signes contraires.

La quantité M_0 en désignant par

P la différence de pression entre les deux extrémités du tube,

L la longueur du tube,

S la section du tube,

k^2 la constante du frottement du liquide,

φ_a le potentiel à la surface du liquide d'une couche infiniment mince répartie sur le liquide du côté du verre,

φ_i le potentiel du liquide au milieu du tube, la valeur de ce potentiel est celle d'une couche infiniment mince répartie à la surface du liquide du côté du liquide.

$$M_0 = -\frac{1}{4\pi}(\varphi_i - \varphi_a)\frac{Ps}{k^2 L}. \qquad (19)$$

La valeur de M_1 est en appelant E la force électromotrice due aux charges accumulées aux deux extrémités du tube, ρ la résistance électrique du liquide,

$$M_1 = \frac{Es}{\rho L}. \qquad (20)$$

L'équation exprimant que le régime permanent est atteint, si aucune dérivation n'a lieu, est :

$$M_0 + M_1 = 0.$$

ou

$$\frac{E}{\rho} = \frac{P}{4\pi k^2}(\varphi_i - \varphi_a). \qquad (21)$$

Il faut remarquer, comme l'ajoute von Helmholz que l'équation est établie en supposant que la paroi est formée d'une seule substance isolante. Toute vérification devra être faite avec un tube isolant et un liquide de résistance connue.

La valeur de E est indépendante de la longueur, de la grandeur et de la forme de la section du tube. Le résultat peut être étendu à un ensemble de canaux étroits enchevêtrés d'une manière quelconque dans une masse solide, par suite à une paroi poreuse. L'équation (21) est ainsi applicable aux diaphragmes.

Les conclusions déduites par von Helmholtz sont mises en parallèle avec les résultats expérimentaux obtenus par M. Quincke dans le tableau suivant :

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX DE M. QUINCKE	CONCLUSIONS DE LA THÉORIE DE VON HELMHOLTZ
Quand l'eau s'écoule sous une pression déterminée à travers un diaphragme de terre, la force électromotrice est indépendante de l'épaisseur et de la surface du diaphragme, de la quantité d'eau qui traverse le diaphragme et conserve la même valeur à plusieurs jours d'intervalle.	La force électromotrice est indépendante de l'épaisseur, de la surface, de la porosité des plaques,
La force électromotrice d'un même appareil à diaphragme est proportionnelle à la pression de l'eau (*loc. cit.*, p. 34, 35, 36).	est proportionnelle à la pression.

La force électromotrice augmente lorsque la résistance électrique du liquide augmente.

est proportionnelle à la résistance.

Von Helmholtz déduit en outre de l'équation les valeurs correspondantes au passage de dissolutions de chlorure de sodium à travers des tubes de verre. Les données du problème sont empruntées au mémoire de M. Quincke (*Ann. Pogg.*, t. CX, 1860, p. 59). Les valeurs trouvées sont de l'ordre des valeurs relatives à l'écoulement de l'eau distillée dans des tubes de verre.

Le résultat est approximatif, par suite de l'incertitude sur la valeur des résistances et des effets de la polarisation qui ne permettaient pas d'apprécier exactement l'intensité et la force électromotrice.

La théorie de von Helmholtz est basée sur l'adhérence de la couche liquide contre la paroi; le fait n'est pas vérifiable, mais von Helmholtz justifie l'hypothèse par ses conséquences. Si l'on admet le glissement au lieu de l'adhérence, le coefficient l est différent de zéro. Von Helmholtz montre que dans ce cas la pression P au lieu d'être inversement proportionnelle à R^2 serait inversement proportionnelle à $R^2 + 4\,l\,R$ (*loc. cit.*, p. 361), conclusion en désaccord avec les résultats des expériences de M. Quincke.

La théorie de von Helmholtz rend compte de tous les phénomènes énoncés et permet de les prévoir en les réunissant à l'aide d'hypothèses fondamentales justifiées par les conclusions.

Des lacunes subsistent encore, von Helmholtz le reconnaît. L'une des hypothèses fondamentales est l'absence de conductibilité de la paroi des canaux; les expériences de M. Quincke avec des diaphragmes platinés, des diaphragmes de charbon, des diaphragmes de terre, des membranes animales imprégnées d'eau sous pression, échappent à la théorie.

Malgré l'imperfection signalée, la théorie de von Helmholtz, basée sur l'hypothèse de la couche double, si ingénieusement développée, est l'une des plus belles conceptions pour relier la plupart des phénomènes électriques de contact; et le mémoire de von Helmholtz sur l'explication de l'endosmose électrique est le système le plus remarquable, le plus conforme aux idées modernes, pour interpréter les phénomènes par des actions mécaniques, et exprimer les faits par l'analyse mathématique.

3. THÉORIE DE M. LAMB

L'une des hypothèses fondamentales de von Helmholtz était l'adhérence de la couche liquide en contact avec la paroi au moment de l'écoulement du liquide à travers les tubes. M. Lamb (*Philosophical Magazine*, 5e série, t. XXV, 1888, p. 52) reprend le même problème en admettant le glissement du liquide contre la paroi et en conservant toutes les autres hypothèses de von Helmholtz.

L'effort nécessaire, en l'absence de toute action électrique, pour produire un glissement d'un centimètre par seconde, calculé approximativement par M. Lamb (*loc. cit.*, p. 56), est 1,4 mégadyne par centimètre carré.

Il résulte de ce fait que l'effet du glissement est insensible dans les questions ordinaires d'hydrodynamique et dans les expériences de Poiseulle, mais le glissement a des effets appréciables dans le cas actuel, par suite de la valeur relativement énorme des forces électromotrices qui agissent à la surface du liquide et l'entraînent à travers le tube.

Les trois cas considérés par von Helmholtz sont traités par M. Lamb.

I. *Changement d'équilibre produit par une force électromotrice, différence de pression hydraulique nulle, méthode dynamique.*

M. Lamb démontre que si l'on désigne par:

U le flux total du liquide qui traverse la section droite du tube par seconde ;

ρ la résistance électrique du liquide ;

I l'intensité du courant électrique traversant le tube ;

Φ l'excès du potentiel du liquide en contact avec le bord du tube sur le potentiel de la paroi, valeur que von Helmholtz représente par $\varphi_i - \varphi_a$;

μ le coefficient de frottement intérieur ;

β le coefficient de glissement du liquide sur la paroi du tube ;

l le rapport $\frac{\mu}{\beta}$;

d la distance entre les plateaux d'un condensateur à air équivalent à celui qui est virtuellement formé par les surfaces opposées des couches doubles répandues sur le liquide et sur la paroi du verre en contact avec le liquide.

$$U = \frac{I\rho}{4\pi\mu} \cdot \frac{l}{d} \cdot \Phi. \qquad (22)$$

L'équation (22) diffère de l'équation (15) de von Helmholtz seulement par l'introduction du coefficient $\frac{l}{d}$. M. Lamb montre que l ne peut pas être égal à d, mais que ces deux quantités sont du même ordre de grandeur, et en déduit l'ordre de grandeur de l. La valeur du rapport $\frac{l}{d}$ n'est pas connue. L'introduction du facteur $\frac{l}{d}$ modifie seulement la valeur du coefficient de proportionnalité ; la concordance des résultats déduits de la théorie et des expériences par M. G. Wiedemann subsiste.

L'indétermination de la valeur du terme $\frac{l}{d}$ ne permet plus le calcul du moment Φ de la couche double. M. Lamb se borne à déduire de l'équation précédente la forme intéressante suivante :

$$\frac{\text{Flux de liquide}}{\text{Flux d'électricité}} = \frac{\rho\Phi}{4\pi\mu} \cdot \frac{l}{d}. \qquad (23)$$

II. *Force électromotrice équilibrée par une pression. Méthode statique.*

Un liquide est placé dans un tube capillaire courbé, une différence de potentiel est établie entre deux sections du tube, le liquide s'élève dans une branche jusqu'au moment où la différence de pression hydrostatique équilibre l'entraînement produit par la force électromotrice.

En désignant par :

P la différence de pression aux deux extrémités du tube ;

E la force électromotrice produite ;

R le rayon du tube,

les autres notations restant les mêmes,

M. Lamb établit l'équation suivante :

$$P = \frac{2E}{\pi R^2} \cdot \frac{l}{d} \cdot \Phi. \qquad (24)$$

L'équation (24) diffère de l'équation (18) établie par von Helmholtz, seulement par l'introduction du facteur $\frac{l}{d}$, et conduit par suite aux mêmes conclusions.

L'équation (24) est la conséquence des faits établis dans la première partie ou de l'hypothèse du transport des liquides par le courant électrique de M. G. Wiedemann (M. Lamb, *loc. cit.*, p. 579).

D'après la relation (23) :

$$\text{Flux de liquide} = \frac{\rho}{4\pi\mu} \cdot \frac{l}{d} \cdot \Phi \times \text{Flux d'électricité}. \qquad (25)$$

Si l'on exerce une pression P capable de produire un flux de liquide, d'après la loi de Poiseulle :

$$\text{Flux de liquide} = \frac{P\pi R^4}{8\mu L}. \qquad (26)$$

Si la pression est choisie de manière que le flux de liquide entrainé par la différence de potentiel soit égal au flux de liquide mû par la pression,

$$\frac{P\pi R^4}{8\mu L} = \frac{\rho}{4\pi\mu} \cdot \frac{l}{d} \cdot \Phi. \text{Flux d'électricité}. \qquad (27)$$

ou en posant :

$$K = \frac{8\mu L}{\pi R^4} \qquad (28)$$

$$P = \frac{K\rho}{4\pi\mu} \cdot \frac{l}{d} \cdot \Phi. \text{ Flux d'électricité}. \qquad (29)$$

Le flux d'électricité est mesuré par l'intensité du courant

$$P = \frac{KI\rho}{4\pi\mu} \cdot \frac{l}{d} \cdot \Phi \qquad (30)$$

or

$$I\rho = E$$

donc

$$P = \frac{K.E}{4\pi\mu} \cdot \frac{l}{d} \cdot \Phi. \qquad (31)$$

III. *Liquide mû par une pression hydraulique, force électromotrice extérieure nulle.*

M. Lamb montre dans ces conditions qu'une différence de pression P, en produisant l'écoulement du liquide, établit une différence de potentiel V entre les extrémités du tube

$$V = \frac{\rho P}{4\pi\mu} \cdot \frac{l}{d} \cdot \Phi \qquad (32)$$

qui diffère de l'équation (21) de von Helmholtz par l'introduction du facteur $\frac{l}{d}$ et conduit aux mêmes conclusions.

Les démonstrations de M. Lamb supposent seulement le tube assez long et assez étroit pour que le régime permanent soit atteint. Les démonstrations peuvent, par suite, être appliquées au diaphragme.

M. Lamb déduit (*loc. cit.*, p. 66) de la forme des équations établies par lui, que si deux expériences successives sont faites avec un même appareil et un même liquide, la première en établissant entre les deux extrémités du tube une différence de potentiel V_1 sans différence de pression, $P_1 = 0$; la seconde en maintenant entre les extrémités du tube une différence de pression P_2 sans différence de potentiel, par suite sans courant entretenu par une force électromotrice extérieure, $I_2 = 0$, les flux U_1 de liquide, I_1 d'électricité de la première expérience, sont liés aux différences de potentiel et de pression de la seconde par la relation

$$\frac{V_2}{P_2} = -\frac{U_1}{I_1}.$$

La vérification de l'égalité $\frac{V}{P} = \frac{U}{I}$ établie par M. Lamb a été entreprise par M. Saxén (*loc. cit.*). L'analyse et la discussion des expériences et des résultats de M. Saxén ont été développées plus haut.

En résumé, deux groupes de théories ont été proposés : dans le premier groupe, les phénomènes sont expliqués par l'action de l'électricité sur le liquide seul, l'effet de la paroi est négligé. Les développements les plus étendus ont été donnés par M. G. Wiedemann; l'interprétation des lois reste souvent vague et incomplète.

Dans le second groupe, un rôle prédominant est attribué à la paroi. L'expression analytique de l'hypothèse fondamentale de la couche double, d'abord par von Helmholtz, par M. Lamb ensuite, d'une manière plus brève, amène à des conclusions d'accord avec les faits. La différence des méthodes analytiques de von Helmholtz et de M. Lamb ne constitue pas la seule dissemblance des deux théories. Von Helmholtz suppose l'adhérence du liquide contre la paroi ; M. Lamb admet le glissement. Von Helmholtz justifie l'hypothèse de l'adhérence par l'accord des résultats calculés et des faits observés par M. Quincke. M. Lamb démontre que le terme l introduit par l'hypothèse du glissement est de l'ordre de grandeur de d, quantité très petite par rapport au rayon des tubes, le produit lR du binôme $R^2 + 4lR$ est donc négligeable devant R^2, il est inappréciable dans les expériences de M. Quincke, et, dans ces conditions, ne peut être invoqué ni pour confirmer ni pour infirmer l'exactitude des hypothèses de l'adhérence ou du glissement.

La théorie de von Helmholtz permet la mesure du moment de la couche double sous la réserve de l'adhérence.

La théorie de M. Lamb introduit encore l'expression du moment de la couche double, mais ce terme est multiplié par le facteur inconnu $\frac{l}{d}$; la détermination par l'expérience seule n'est plus possible. L'inconvénient est compensé par la suppression de

l'hypothèse invérifiable de l'adhérence, et l'expression de tous les phénomènes. Les points fondamentaux communs des deux hypothèses s'accordent avec les vues générales de M. de la Rive (*Traité d'électricité*, t. III, p. 737, édition 1858), les résultats des expériences de Matteucci, Van Breda et Logeman, qui affirment l'action de la paroi et amènent en même temps aux conclusions déduites des expériences de M. G. Wiedemann. Dans le cas des tubes mauvais conducteurs, le problème est ramené à une question de mécanique exprimée par une fonction précise de données et de coefficients définis dont la valeur échappe encore, mais dont la considération et la détermination sont la base de la physique moléculaire. Une lacune subsiste : le cas du passage des liquides à travers les tubes conducteurs n'est pas traité.

Les théories de von Helmholtz et de M. Lamb, comparées aux autres, présentent donc, malgré la lacune signalée, l'avantage de grouper et d'expliquer avec précision la plupart des faits connus, de les rattacher à un très grand nombre de phénomènes interprétés par l'hypothèse commune de la couche double, et d'en baser l'explication sur des quantités mesurables et des coefficients nécessaires à l'étude d'autres phénomènes.

Ces théories relient l'étude actuelle à une série de recherches publiées sous le titre de : « Potentiels électriques dans un liquide en mouvement » (*L'Éclairage Électrique*, t. VIII, 1896, p. 491-579).

G. Gouré de Villemontée.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Procédé Siemens Brothers, pour l'isolement au papier des plaques de tôle servant à la construction des appareils électriques (¹).

A l'ancienne méthode qui consistait à coller le papier isolant sur les tôles toutes découpées constituant les éléments d'une pièce polaire ou d'un anneau d'induit, MM. Siemens Brothers ont substitué la machine représentée par les figures 1 à 3. L'arbre de commande N (fig. 1) entraîne simultanément les trois trains de rouleaux H_1, H_2, B_1, B_2 et Q_1, Q_2, disposés dans le même plan à la partie supérieure des tablettes F_1, F_2 de la machine. Les tôles sont saisies par les premiers rouleaux et amenées entre les deux suivants où s'effectue le collage du papier. Ce dernier, enroulé autour d'un cylindre G et entraîné par B_1, est collé sur tôle dans son passage entre les deux rouleaux ; la pâte est à cet effet placée en E. Pour faciliter l'adhérence du papier, le cylindre colleur B_1 est recouvert d'une épaisse garniture de caoutchouc sur laquelle frotte un racloir O qui la lave en même temps à l'aide d'un filet d'eau venant par P. La pression de ce cylindre sur le papier se règle en déplaçant les poids *c*, *c*, mobiles le long des barres d'appui de ses tourillons.

Fig. 1 et 2. — Machine à coller Siemens Brothers.

A sa sortie de B_1 la feuille de tôle ainsi

(¹) Brevet anglais, n° 14 555, déposé le 1er juillet 1896, délivré le 15 mai 1897.

recouverte de papier passe lentement sur la tablette F que chauffe un fourneau à gaz placé à l'intérieur, et arrive presque sèche sur la pile c_1 (fig. 3).

Quand il est nécessaire de coller du papier sur chacune des faces de la tôle, on dispose la machine comme l'indique la figure 2, et les deux feuilles de papier venant par D_1 D_2 sont collées simultanément.

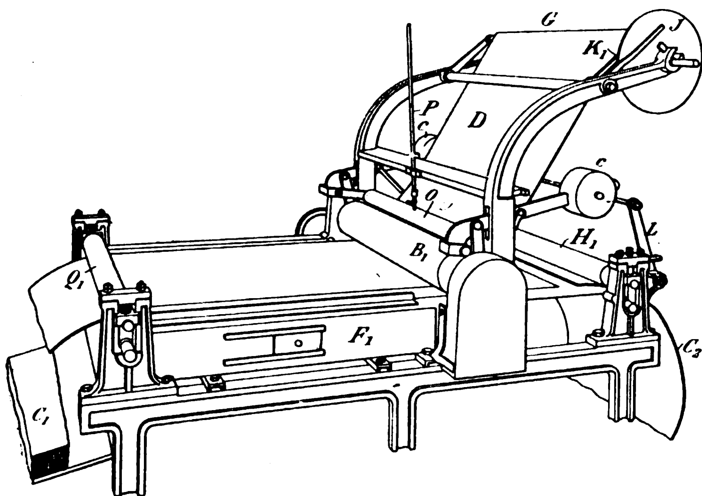


Fig. 3. — Machine à coller Siemens Brothers. Élévation.

L'avantage que procure l'emploi de cette machine est que les tôles découpées peuvent être assemblées et montées dès leur sortie de l'emporte-pièce : l'économie de temps réalisée sur le procédé de collage à la main est assez considérable et le travail mieux fait.

L. D.

Nouveau moteur pour tramways, de la General Electric Company.

Le grand succès obtenu par les applications, à la traction, du moteur G. E. 1000 a conduit la General Electric Company à étudier un nouveau moteur, basé sur les mêmes principes, mais d'une moins grande puissance.

Ses principales qualités sont une grande légèreté jointe à la solidité, et une simplicité de construction aussi complète que possible.

Ce moteur G. E. 52 est appelé à produire un travail analogue à celui du moteur G.E. 800. Il ne doit pas être recommandé pour un travail plus important et pour lequel le moteur G. E. 1000 conviendrait mieux.

La puissance normale du moteur est de 27 chevaux, et la température des enroulements du moteur ne s'élève qu'à 75 degrés centigrades au-dessus de la température ambiante après une heure de marche au régime indiqué, la température de l'air ambiant n'excédant pas 25 degrés centigrades.

Il a été étudié et construit pour fonctionner avec des freins électriques; mais, comme l'énergie absorbée par ces freins n'est pas négligeable, il ne faudra pas employer ceux-ci avec le nouveau moteur lorsque le service demandé comportera des efforts de traction trop considérables.

L'enveloppe, ou bâtis du moteur, est composée de deux coquilles pivotant chacune sur un de leurs côtés et boulonnées de l'autre, de façon à enfermer le moteur d'une façon parfaite et à le mettre à l'abri de la poussière et de l'eau. Un trou à main, placé sous le collecteur et se fermant d'une façon complètement étanche au moyen d'un couvercle, permet l'accès au fond du moteur, et facilite les visites et l'enlèvement de la graisse qui pourrait s'y accumuler.

Les bobines inductrices sont au nombre de quatre. Chaque bobine inductrice est maintenue en place au moyen d'une plaque d'acier et des pièces polaires elles-mêmes qui sont fixées au moyen de boulons traversant la culasse du moteur. Ces pièces polaires ne doivent être ainsi boulonnées qu'après que les bobines inductrices ont été mises en place, et alors elles maintiennent le tout ensemble.

Pour le moteur G. E. 52, les pièces polaires sont composées de feuilles de tôle laminées, ce qui n'a pas lieu pour celles du moteur G. E. 1000.

Les paliers constituent la partie la plus

délicate d'un moteur et en même temps celle qui entre pour la plus grande part dans les frais d'entretien, par suite du remplacement des coussinets. Dans le moteur G. E. 52, on leur a donné une très grande surface, ce qui présente un sérieux avantage.

Pour le graissage des paliers, on peut employer, indifféremment, la graisse ou l'huile.

Les deux coussinets de l'induit ont les dimensions suivantes :

Côté du pignon, 19,7 cm × 7 cm.

Côté du collecteur, 16,2 cm × 6,35 cm.

Ces deux coussinets sont placés en dehors de l'enveloppe. Les paliers sont très longs, de grand diamètre, et garnis de métal blanc, de sorte que la pression est légère et le frottement très faible. Dans ces coussinets, le graissage est également effectué au moyen de graisse ou d'huile.

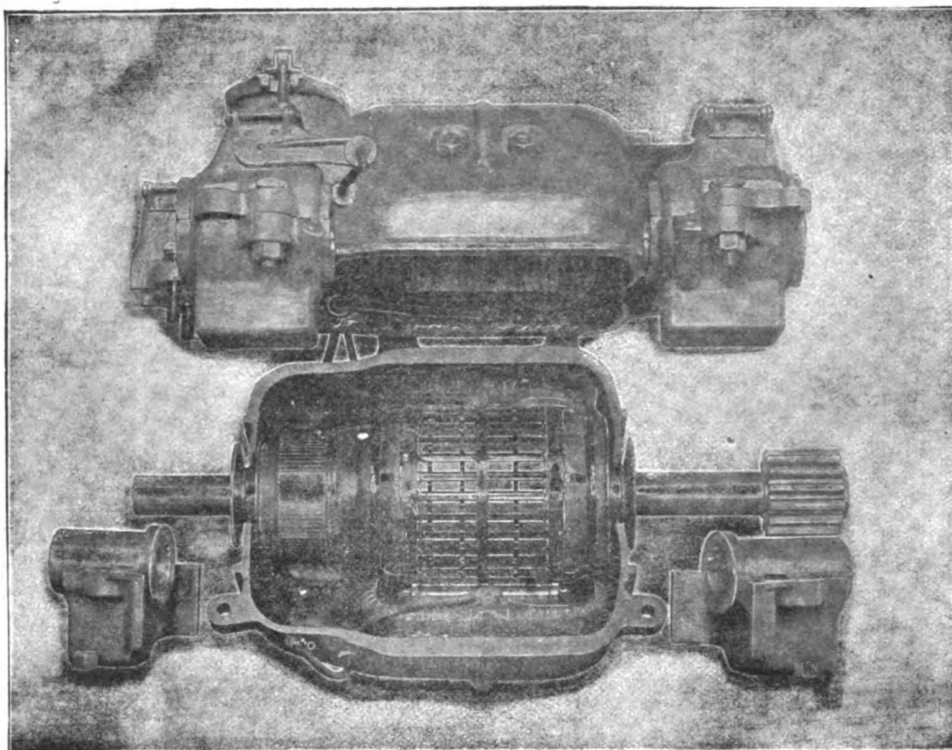


Fig. 1. — Diverses parties du moteur G. E. 52.

De chaque côté de l'induit, sont deux disques qui projettent l'huile au dehors et l'empêchent ainsi de pénétrer à l'intérieur du moteur. A la partie supérieure se trouvent les graisseurs, et un espace laissé libre permet l'écoulement de l'huile, afin d'éviter la formation de cambouis à l'intérieur du moteur.

L'induit tambour est du type à noyau creux. Son diamètre est de 28 cm et sa longueur de 23 cm. Il est composé de feuilles de tôle bien recuites et, afin de faciliter la circulation de l'air, on a ménagé des ouvertures, comme cela a lieu dans la construction des génératrices.

Il y a 29 encoches dans lesquelles se placent 3 bobines réunies en une seule. Ce petit nombre de bobines facilite les réparations, et, d'autre part, la façon même dont les bobines sont disposées permet de leur assurer un isolement parfait.

Enfin, la grande légèreté de l'induit lui donne une très faible inertie, ce qui constitue encore un sérieux avantage au point de vue du freinage.

Le collecteur est construit comme celui du

moteur G. E. 1000. Il possède 87 lames en cuivre dur étiré, maintenues par un anneau et non par des boulons. L'épaisseur de ces lames est de 4,5 cm, ce qui leur assure une longue durée, l'usure pouvant aller jusqu'à 2,5 cm.

Les porte-balais sont placés de manière que le collecteur soit usé d'une façon uniforme dans toute sa largeur. Chacun d'eux comporte deux balais en charbon ayant 57 mm de longueur, 32 mm de largeur et 12,7 mm d'épaisseur. Leur support est en matière isolante parfaitement lisse afin d'éviter les dépôts de poussière et les dérivations de courant qui pourraient s'ensuivre.

La suspension peut se faire de plusieurs manières, comme pour le moteur G. E. 1000. Mais il est préférable d'employer celle qui consiste à suspendre le moteur par une barre en forme de joug; avec ce mode de suspension, le poids porte sur des ressorts placés sur le cadre du truck de la voiture, ce qui amortit l'effet des chocs qui viendraient à se produire. La barre de suspension est

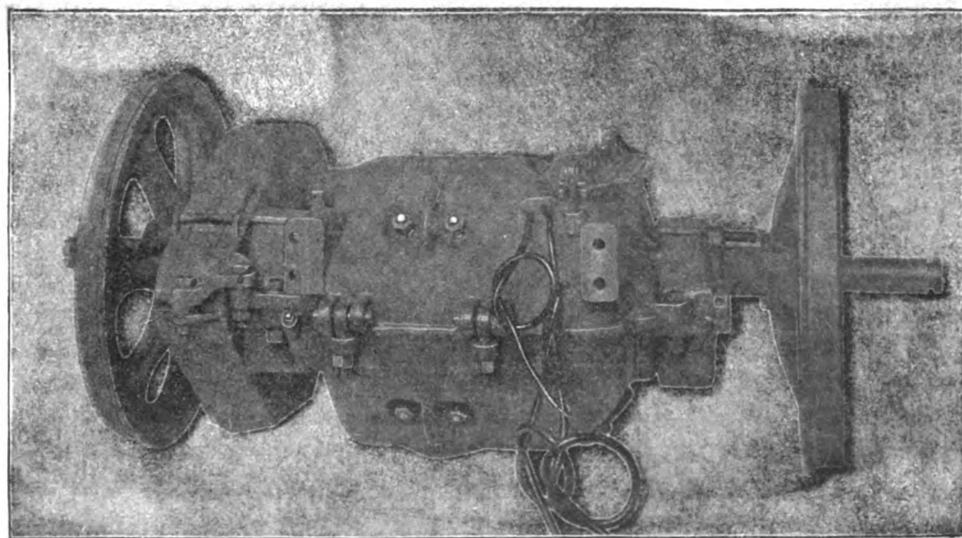


Fig. 2. — Moteur G. E. 52 monté sur l'essieu.

boulonnée aux pièces faisant saillie et appartenant à la boîte supérieure du moteur. De cette façon le moteur est supporté par sa partie supérieure, ce qui facilite les réparations, car la partie inférieure de l'enveloppe peut être abaissée sans qu'il y ait besoin de toucher à la partie supérieure qui reste suspendue.

Quand le truck est monté sur des roues de 84 cm, la distance entre la surface supérieure des rails et le fond du moteur est de 15 cm, et celle comprise entre la surface supérieure des rails et le bas de la boîte d'engrenage, de 12 cm. Le rapport des engrenages est de 4,78.

Le pignon à alésage conique a 14 dents; la roue d'engrenage est en fonte d'acier et a 67 dents.

On peut employer des engrenages de plus grand rapport; dans ce cas la vitesse augmente et l'effort de traction diminue proportionnellement.

Le moteur sans engrenage ni boîte d'engrenage pèse 665 kg; son poids total est de 785 kg.

Moteurs asynchrones;

Par C.-P. Steinmetz (1)

Sous ce titre, l'auteur a présenté à l'Ame-

(1) *The Electrical Engineer*, New-York, 29 juillet, 5 et 12 août 1897.

rican Institut of Electricals Engineers un résumé des essais faits sur une série de moteurs asynchrones de la General Electric Company, ainsi que quelques considérations théoriques. Quelques-uns des éléments mesurés sont présentés sous la forme chère à M. Steinmetz, celle de quantités imaginaires; on peut toutefois en tirer facilement des résultats plus parlants aux personnes non initiées aux méthodes de calcul de ce savant.

Le mémoire se divise en plusieurs parties; une première se rapporte à l'étude du fonctionnement normal du moteur dans le voisinage du synchronisme, les courbes caractéristiques du moteur portent alors le nom de *courbes de charges;* celles se rapportant au fonctionnement au démarrage et avec un glissement négatif ou un glissement plus grand que un, sont dénommées *courbes de vitesse;* une dernière partie enfin se rapporte à la régulation et à la stabilité.

Courbes de charges. — M. Steinmetz fait tout d'abord remarquer que les caractéristiques d'un transformateur ou d'un moteur asynchrone sont, toutes choses égales d'ailleurs, indépendantes du rapport de transformation ([1]).

En particulier, si l'on double le nombre de barres de l'induit tout en réduisant leur section de moitié, le rendement, le glissement, etc., restent invariables; en somme il suffit d'enrouler l'induit avec une ou deux barres par encoche de façon à réduire les résistances secondaires au minimum.

On peut toujours supposer que le rapport de transformation est égal à l'unité, quoique dans la pratique ce rapport soit défavorable pour obtenir une reluctance uniforme nécessaire pour le démarrage du moteur.

Soient : $Y_0 = a - b\sqrt{-1}$ l'admittance primaire ou l'admittance à circuit secondaire ouvert, c'est-à-dire l'inverse de l'impédance de l'inducteur à induit ouvert.

$R_1 = r_1 + s_1\sqrt{-1}$ l'impédance primaire ([1])

$R_2 = r_2 + s_2\sqrt{-1}$ l'impédance secondaire, ramenée au même nombre de spires que le primaire. Les admittances et impédances vraies sont les modules des imaginaires précédentes.

Les différents facteurs que l'auteur considère et auxquels il donne le nom de rendements, sont les suivants :

Le rendement en puissance ou le rapport du travail fourni par le moteur à celui qu'il produirait s'il n'y avait pas de pertes dans ce moteur, c'est-à-dire au travail électrique fourni au moteur. Le « rendement apparent en puissance » ou le rapport entre la puissance mécanique réellement produite et la puissance électrique apparente fournie à l'inducteur, c'est-à-dire au produit des volts par les ampères.

Le rendement en couple défini par le rapport entre le couple réel du moteur et celui qu'il aurait s'il n'y avait pas d'énergie consommée dans le moteur. Le « rendement

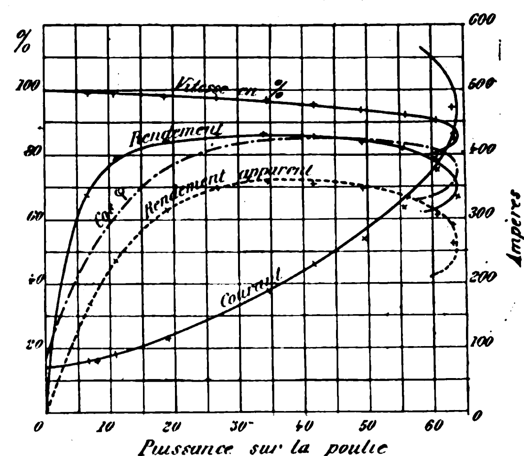


Fig. 1. — Caractéristiques diverses d'un moteur triphasé de la General Electric.

apparent en couple » analogue au rendement apparent en puissance, c'est-à-dire le rapport

([1]) Cette proposition a été émise autrefois par M. Blondel sous cette forme : « Les caractéristiques polaires d'un moteur asynchrone sont indépendantes du bobinage de l'induit. » Voir Notes sur la théorie élémentaire des appareils à champ tournant, *La Lumière Électrique*, t. L, p. 611, 1893. (C.-F. G.)

([1]) Les inductances s_1 et s_2 correspondent uniquement aux fuites du primaire et du secondaire.

entre le couple réel et celui qu'aurait le moteur s'il n'y avait pas de pertes et si la puissance électrique était égale au produit des volts par les ampères ($\cos \varphi = 1$).

La connaissance de l'admittance primaire et des impédances primaire et secondaire permet de calculer les facteurs principaux et d'en suivre les variations [1].

Les figures 1 et 2 correspondent à un

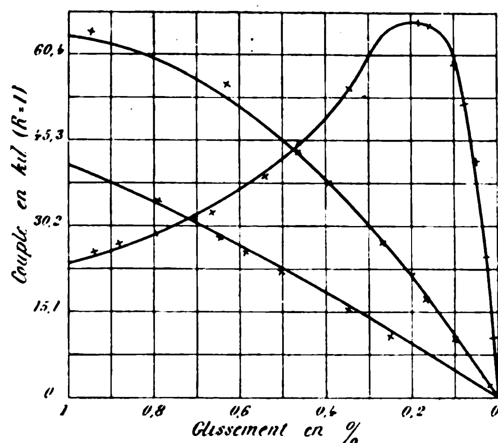


Fig. 2.— Courbes du couple du moteur précédent et fonction du glissement avec et sans résistances dans l'induit.

moteur triphasé à huit pôles fonctionnant sur 110 volts avec des courants de fréquence 60.

Les valeurs des constantes sont :

$$Y_1 = 0{,}045 - 0{,}384\sqrt{-1}$$
$$R_1 = 0{,}045 + 0{,}124\sqrt{-1}$$
$$R_2 = 0{,}041 + 0{,}124\sqrt{-1},$$

les circuits du moteur étant montés en triangle. Les watts absorbés par frottement sont pour la vitesse du synchronisme de 510 watts.

La puissance et le couple sont trois fois plus grands que leurs valeurs calculées puisqu'il y a trois circuits, et le courant par conducteur d'alimentation porté sur la figure est 1,732 fois plus grand que celui calculé.

La figure 1 comprend le glissement, les rendements vrai et apparent, le facteur de puissance et le courant primaire.

La figure 2 donne les courbes du couple en fonction du glissement, avec l'induit en court circuit ($e_2 = 0{,}041$) avec des résistances totales de 0,33 et de 0,76 par phase.

Les points marqués d'une croix correspondent aux valeurs observées.

Les équations montrent que les différents rendements, le facteur de puissance, la vitesse et le couple au démarrage par volt-ampère sont indépendants de la tension. Le courant et la force contre-électromotrice de self-induction sont proportionnels à la tension; enfin le couple, la puissance vraie et la puissance apparente sont proportionnels au carré de la différence de potentiel. On suppose que le fer est assez éloigné du point de saturation.

En considérant le moteur d'induction au régime correspondant aux deux tiers du couple maximum, les éléments principaux du moteur sont indépendants de la tension et dépendent seulement de l'admittance et des impédances.

Un changement dans une des impédances du moteur a un effet très faible, pourvu qu'un changement, en sens contraire, ait lieu sur l'autre de façon à ce que l'impédance totale reste la même.

En somme trois constantes seulement définissent un moteur asynchrone :

1° Le produit de l'admittance par l'impédance $\delta = 2\,Y\,R$;

2° Le facteur de puissance à secondaire ouvert $B = \frac{a}{Y}$;

3° Le facteur de puissance *d'impédance* $\gamma = \frac{r_1 + r_2}{R} = \frac{r}{R}$;

où Y et R sont les modules des quantités Y_1 et R_1.

Le produit $2\,Y\,R$ est, comme on le voit facilement, le rapport entre le courant d'excitation et le courant en court circuit ou encore approximativement le rapport entre la self-induction totale et l'induction mutuelle des circuits du moteur.

Pour montrer l'effet de la « constante carac-

(1) Voir pour le calcul des moteurs par la méthode de MM. Steinmetz, F. Guilbert : « La théorie du transformateur général de M. Steinmetz. » *L'Éclairage Électrique*, t. VII p. 97, 1896.

téristique 2 Y R » sur un moteur, l'auteur a calculé pour un certain nombre de moteurs les courbes analogues à la figure 1. Ces courbes sont représentées sur les figures 3 à 7 et les principales constantes sont résumées dans le tableau I.

Les courbes de la figure 3 se rapportent

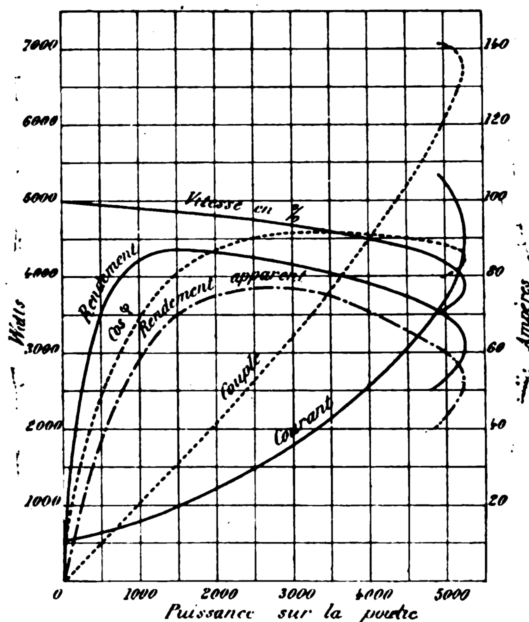


Fig. 3. — Caractéristiques d'un moteur à bon rendement et bon facteur de puissance à diverses charges (Moteur n° 1 du tableau).

au meilleur moteur (n° 1), lequel peut être construit pour des fréquences de 40 à 60 périodes par seconde.

Le rendement augmente très rapidement et atteint un maximum de 91 p. 100, puis tombe lentement pour redescendre à 88 p. 100 à pleine charge.

Le courant d'excitation est très faible et le glissement de 6 p. 100 en charge pourrait être abaissé en diminuant la résistance de l'induit.

Les courbes de la figure 4 donnent une idée d'un moteur à grande résistance (n° 2). Le glissement atteint 11 p. 100 en pleine charge, le facteur de puissance conserve une valeur élevée mais le rendement tombe très rapidement lorsque la charge augmente. Le courant d'excitation y est le même que dans le moteur précédent (fig. 3).

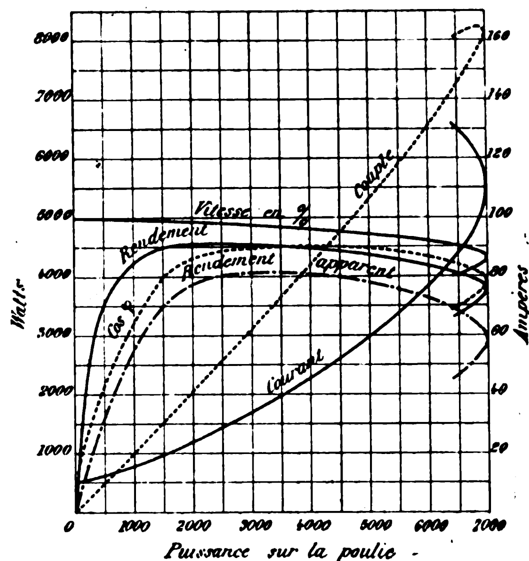


Fig. 4. — Caractéristiques d'un moteur à grande résistance (Moteur n° 2 du tableau).

Si au lieu d'avoir une grande résistance on

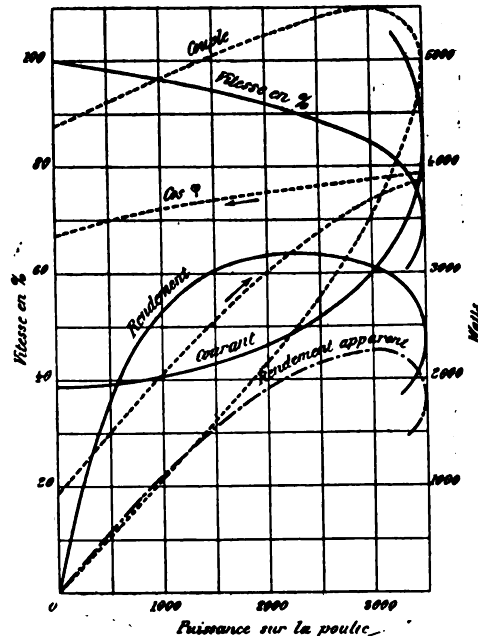


Fig. 5. — Caractéristiques d'un moteur à faible impédance à circuit secondaire ouvert (N° 3 du tableau).

a une grande admittance (moteur n° 3), le rendement est très faible, le glissement

énorme, le facteur de puissance peu élevé et le courant d'excitation assez grand.

Supposons maintenant que le moteur ait beaucoup de fuite (n° 4) mais une faible résistance; le glissement (fig. 6) devient très petit,

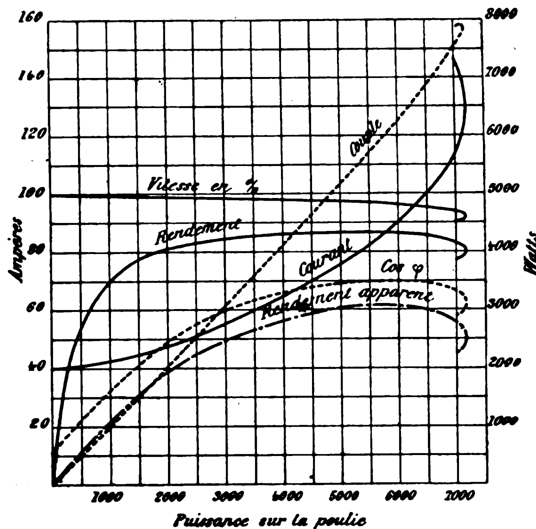


Fig. 6. — Caractéristiques d'un moteur à grande réactance (N° 4 du tableau).

le rendement est meilleur, mais le facteur de puissance est encore plus petit. Ce moteur

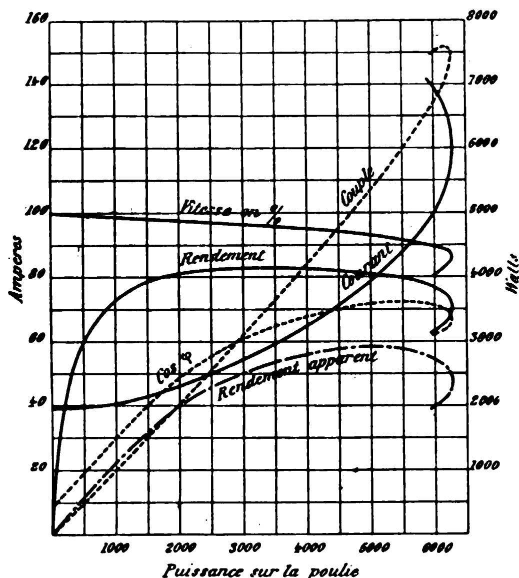


Fig. 7. — Caractéristiques d'un moteur à grande susceptance (N° 5 du tableau).

ne peut être à peu près satisfaisant qu'à condition de fonctionner toujours au voisinage de la pleine charge.

La figure 7 (n° 5) se rapporte à un moteur à grande susceptance, le rendement est bon aux faibles charges comme aux fortes charges, mais le facteur de puissance est faible.

En comparant les courbes pour les différents moteurs on retrouve bien que les bons moteurs sont caractérisés par un grand facteur de puissance, des rendements vrai et apparent élevés à faible comme à pleine charge, un faible glissement et un petit courant d'excitation.

Courbes de vitesse. — Dans cette partie de son mémoire l'auteur rappelle les propriétés du couple des moteurs asynchrones; le seul point intéressant est l'étude des courbes d'un générateur asynchrone, c'est-à-dire d'un moteur asynchrone à qui on fournit une certaine puissance mécanique pour le faire fonctionner à une vitesse supérieure à celle du synchronisme et qui dans ces conditions fournit une certaine puissance au réseau qui l'alimentait.

La courbe du couple [1] en fonction du glissement pour le moteur n° 1 (fig. 3) est représentée sur la figure 8; on voit que le couple résis-

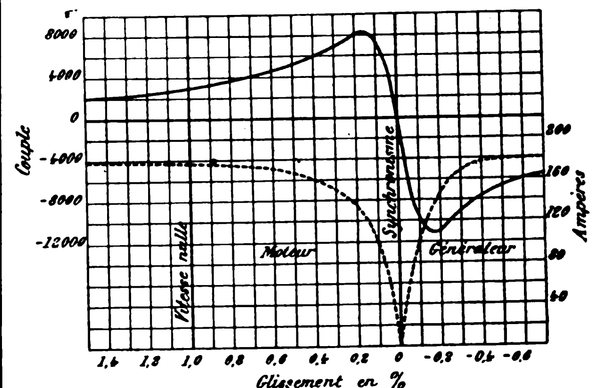


Fig. 8. — Courbe du couple et du courant dans un moteur et un générateur asynchrone (Moteur de la figure 3).

[1] Sur toutes les figures les couples sont exprimés en watts ramenés au synchronisme ce qui s'obtient en multipliant la puissance sur la poulie par le rapport de la vitesse du synchronisme à la vitesse réelle du moteur.

TABLEAU I

NUMÉRO du moteur.	NUMÉRO de la figure.	$Y_1 = a - b\sqrt{-1}$	$R = R_2 = r_1 + s_1\sqrt{-1}$	$\delta = 2YR$	$\beta = \frac{a}{Y}$	$\gamma = \frac{r}{R}$	Cm. Couple maximum évalué en kilowatts au synchronisme.	Pr. Puissance primaire en kilowatts aux 2/3 du couple maximum.	Pm. Puissance primaire au régime Cm en p. 100 de Pr.	G. Glissement au régime Pr.	Courant primaire à vide en p. 100 du courant au régime Pr.	FACTEUR de puissance. Pleine charge.	FACTEUR de puissance. 1/2	FACTEUR de puissance. 1/4	RENDEMENT Pleine charge.	RENDEMENT 1/2	RENDEMENT 1/4
		$0,005 - 0,05\sqrt{-1}$	$0,1 + 0,3\sqrt{-1}$	0,0318	0,1	0,316	(1) 9	(1) 5,65	1,33	6,3	8,7	96,6	95	91	85	93	93,5
		$0,01 - 0,1\sqrt{-1}$	$0,05 + 0,3\sqrt{-1}$	0,0612	0,1	0,164	8,90	5,75	1,42	3,2	16,7	88,7	88,7	77,8	92,4	93,5	90,8
1*	3	$0,01 - 0,1\sqrt{-1}$	$0,1 + 0,3\sqrt{-1}$	0,0636	0,1	0,316	8,25	5,15	1,36	6,3	17,4	89	88,5	74	86,5	91,2	88,2
2*	4	$0,01 - 0,1\sqrt{-1}$	$0,2 + 0,3\sqrt{-1}$	0,0726	0,1	0,554	7,10	4,20	1,25	11	19,5	91	88,4	71	76	86,5	85
		$0,01 - 0,1\sqrt{-1}$	$0,4 + 0,3\sqrt{-1}$	0,1004	0,1	0,800	5,30	2,90	1,12	6,18	25,0	93	83	57	66	85	90
		$0,02 - 0,2\sqrt{-1}$	$0,1 + 0,3\sqrt{-1}$	0,1270	0,1	0,316	7,90	4,95	1,35	6,3	32	83	74	55	84	87	80
		$0,02 - 0,2\sqrt{-1}$	$0,2 + 0,3\sqrt{-1}$	0,1452	0,1	0,554	6,80	4	1,26	11	36	85	72.	50,5	75,5	80,6	74
4*	6	$0,04 - 0,4\sqrt{-1}$	$0,05 + 0,3\sqrt{-1}$	0,2444	0,1	0,164	7,90	5,10	1,42	3,2	51,4	69,4	55	37	86,4	83	73,5
5*	7	$0,02 - 0,4\sqrt{-4}$	$0,1 + 0,3\sqrt{-1}$	0,2535	0,05	0,316	7,60	4,75	1,35	6,3	52	71	54	36	82	82,3	75
		$0,04 - 0,4\sqrt{-1}$	$0,1 + 0,3\sqrt{-1}$	0,2540	0,1	0,316	7,30	4,55	1,35	6,3	53,5	71	54	36	79,7	79	69
3*	5	$0,04 - 0,4\sqrt{-1}$	$0,3 + 0,3\sqrt{-1}$	0,3420	0,1	0,707	5,50	3,10	1,13	16,5	62,5	75	53	37	60,6	61,3	47
1_1		$0,03 - 0,3\sqrt{-1}$	$\left\{ \begin{matrix} 0,1 + 0,3\sqrt{-1} \\ 0,033 + 0,1\sqrt{-1} \end{matrix} \right\}$	0,1272	0,1	0,316	9,9	6,4	1,43	2,8	36	82	73	52,5	84,5	85	78
2_1		$0,03 - 0,3\sqrt{-1}$	$\left\{ \begin{matrix} 0,2 + 0,3\sqrt{-1} \\ 0,067 + 0,1\sqrt{-1} \end{matrix} \right\}$	0,1452	0,1	0,554	7,5	4,8	1,36	4,3	44,3	85	67,5	47	74,5	78	69
4_1		$0,12 - 1,2\sqrt{-1}$	$\left\{ \begin{matrix} 0,05 + 0,3\sqrt{-1} \\ 0,0167 + 0,3\sqrt{-1} \end{matrix} \right\}$	0,4888	0,1	0,164	8,8	5,8	1,43	1,9	73	52	36	24,5	76	68	52
5_1		$0,06 - 1,2\sqrt{-1}$	$\left\{ \begin{matrix} 1 + 0,3\sqrt{-1} \\ 0,033 + 0,1\sqrt{-1} \end{matrix} \right\}$	0,507	0,05	0,316	7,75	5,0	1,41	3,4	78	53,5	35	24	69,5	62,5	47,5
3_1		$0,12 - 1,2\sqrt{-1}$	$\left\{ \begin{matrix} 0,3 + 0,3\sqrt{-1} \\ 0,1 + 0,1\sqrt{-1} \end{matrix} \right\}$	0,684	0,1	0,707	4,3	2,67	1,33	6,8	92	60,5	45,7	38,5	40	28,6	17

* Les moteurs portant cette indication sont des moteurs types.

(1) Les chiffres de ces deux colonnes correspondent à une seule phase.

tant de l'appareil employé comme générateur est plus grand que le couple maximum de l'appareil fonctionnant comme moteur.

La figure 9 contient les courbes correspondant à celles de la figure 3 pour le cas où le moteur fonctionne comme générateur asynchrone; ces courbes sont tout à fait analogues à celles de la marche en moteur.

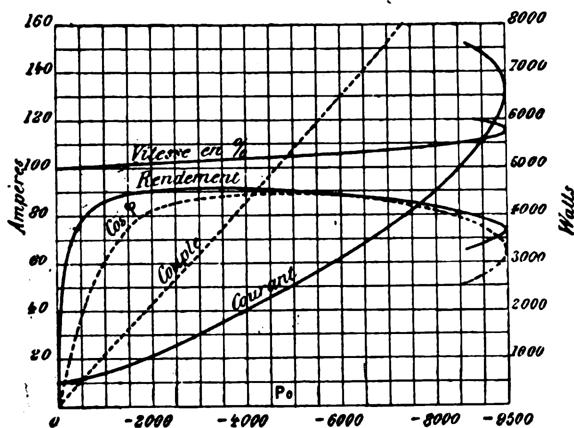


Fig. 9. — Caractéristiques d'un générateur asynchrone (Moteur de la figure 3).

Une remarque importante est la suivante : si l'on veut prendre une certaine charge sur le générateur asynchrone, il faut que le facteur de puissance du réseau soit précisément égal à celui qui correspond à cette charge pour le générateur; s'il n'en est pas ainsi, c'est-à-dire si le facteur de puissance varie, le courant et le voltage du générateur varieront ensemble. Il résulte de ceci que, en général, les machines génératrices asynchrones ne sont stables que lorsqu'une partie de la charge se compose de moteurs synchrones.

Le courant dans un moteur d'induction est minimum au synchronisme et croît très rapidement des deux côtés du synchronisme, comme le montre la figure 8 (se rapportant toujours au moteur n° 1), pour devenir sensiblement constant à partir d'un glissement positif ou négatif de 30 à 40 p. 100.

Nous laisserons de côté les considérations, bien connues du reste, que M. Steinmetz donne sur l'introduction de résistances, de self-induction ou de capacité dans les inducteurs et dans l'induit des moteurs asynchrones ; nous reproduisons simplement les courbes (fig. 10 et 12) représentant le couple, le courant, le facteur de puissance, et les rendements en couple au démarrage en fonction des valeurs des résistances ou des réactances positives ou négatives introduites dans le secondaire du moteur n° 1.

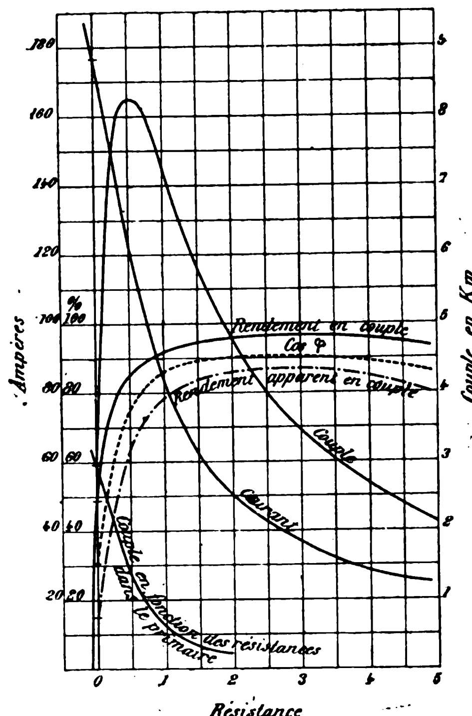


Fig. 10. — Variations du couple au démarrage du moteur n° 1, en fonction de la valeur des résistances introduites dans l'induit.

Régulation et stabilité. — En pratique, les moteurs d'induction ont une moins grande stabilité, c'est une plus faible facilité de surcharge que lorsqu'on opère à potentiel constant, par suite de la variation du voltage aux bornes. On atténue un peu ces effets par un choix judicieux des circuits et principalement des transformateurs pour avoir une impédance aussi faible que possible.

Pour montrer l'effet des transformateurs, l'auteur construit les courbes du moteur n° 1 dans diverses conditions :

1° Lorsque le moteur est alimenté à potentiel constant de 110 volts ;

2° Lorsqu'il est alimenté par un bon transformateur moderne ayant 2 p. 100 de chute

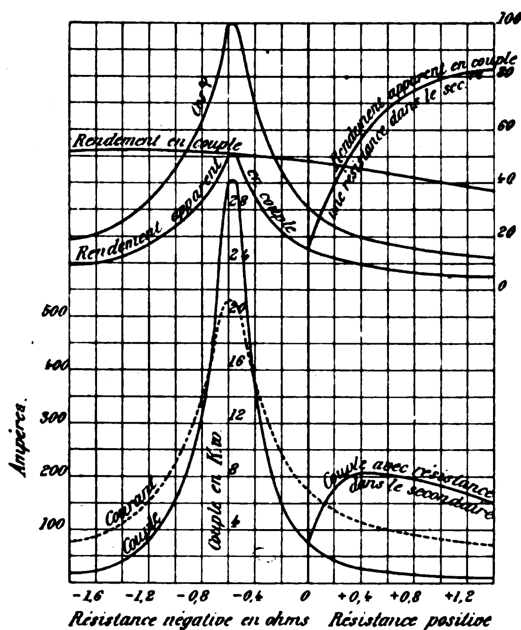


Fig. 11. — Variations du couple au démarrage du moteur n° 1, en fonction d'une capacité et d'une self-induction introduite dans l'armature.

de tension ohmique et 4 p. 100 de réactance

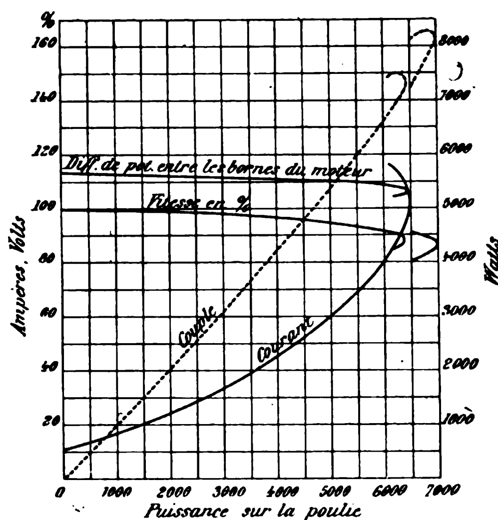


Fig. 12. — Courbes caractéristiques du moteur n° 1 alimenté par un bon transformateur moderne.

totale de fuite. La tension primaire est telle que la différence de potentiel aux bornes du moteur soit de 110 volts à pleine charge, c'est-à-dire pour un débit de 59 ampères par circuit ou une charge de 5 000 watts par circuit sur la poulie (fig. 12);

3° Lorsqu'il est alimenté par transformateur ordinaire ayant 2 p. 100 de chute de tension ohmique et 15 p. 100 de réactance totale de fuite, dans les mêmes conditions de voltage aux bornes et de charge (fig. 13). Les figures 12 et 13 contiennent les courbes

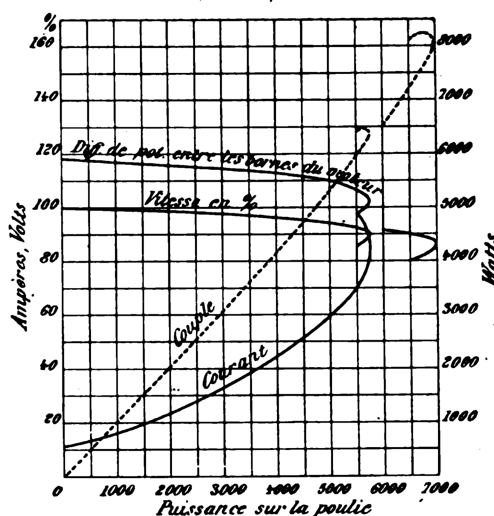


Fig. 13. — Caractéristiques du moteur n° 1 alimenté par un transformateur ordinaire.

de la tension aux bornes et les boucles indiquant les valeurs maxima à potentiel constant.

On voit que le moteur qui, à un voltage constant de 110 volts, était capable d'un travail maximum de 7 000 watts par circuit, ne peut plus, avec le premier transformateur, dépasser 6 450 watts par circuit, et avec le second, 5 780 watts. Les couples maxima sont respectivement de 8 250, 7 500 et 6 460. En somme, le moteur qui était suffisant pour pouvoir supporter éventuellement une surcharge de près de 40 p. 100 de sa charge normale, n'a plus dans le second cas qu'une marge de 29 p. 100 et 15 p. 100 dans le troisième, c'est-à-dire est même insuffisant pour produire le travail requis. C.-F. G.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du Mercredi 1er Décembre 1897.

M. Riccardo Arnô expose la théorie de sa méthode du démarrage des moteurs asynchrones à courant alternatif simple. Le travail du savant professeur italien a été publié intégralement dans *L'Éclairage Électrique* (¹) et fera l'objet d'une prochaine étude complémentaire; nous nous contenterons aujourd'hui de rappeler que cette théorie analytique le conduit à la détermination de la *valeur critique* de la résistance des enroulements élémentaire de l'armature, permettant le démarrage dans les conditions les plus favorables et à la connaissance des principales propriétés dont jouit l'appareil ainsi construit.

A la suite de cette communication, M. Maurice Leblanc rappelle qu'il a publié, en mai 1891, dans *La Lumière Électrique*, la théorie générale dont M. Riccardo Arnô vient d'étudier un cas particulier. Comme son nom a été mis en avant à propos du travail actuel, il tient à bien fixer la question de priorité : il déclare n'avoir pas étudié le cas particulier traité par M. Arnô et n'avoir pas tiré de son étude les conséquences intéressantes que M. Arnô en a déduites.

M. Désiré Korda fait observer que le procédé de M. Arnô, tout en étant très intéressant, n'apporte pas une solution complète de la question ; il n'assure pas le démarrage proprement dit ; il faut encore commencer à mettre le moteur en mouvement à la main, à lui donner le « coup de pouce ». La même observation a déjà été faite dans *L'Éclairage Électrique*, lors de la publication du mémoire de M. Arnô.

M. Korda étendant le débat, pose ensuite cette question : A-t-on besoin d'un moteur à courant alternatif simple ? En général, dans une installation nouvelle, on sera conduit à adopter les courants polyphasés ; mais, pour les installations existantes, il faut pouvoir utiliser le courant existant ; en outre, pour la traction, l'emploi de moteurs à courant alternatif simple permettrait de n'employer qu'un seul fil de ligne au lieu de deux. Le problème est donc très intéressant. M. Korda passe alors à l'étude des principales solutions qui ont été proposées. Il passe rapidement sur l'emploi de la roue de Faraday et des moteurs à courant continu employés avec l'alternatif, et arrive à l'emploi du moteur asynchrone et expose les procédés de M. Kando et de M. Healand pour faciliter le démarrage. Le premier a recours à une dissymétrie des enroulements de l'armature obtenue en mettant une partie de ces enroulements en court circuit lors de la mise en marche ; le second a recours à la réaction de l'induit sur un circuit dérivé convenablement enroulé sur les inducteurs ; ce dernier procédé permet d'obtenir au démarrage un couple moteur, 2,5 fois environ plus grand que le couple ordinaire, mais c'est au détriment de la puissance utile et du rendement.

L'intensité du courant, au moment du démarrage, est double en général de l'intensité en régime normal.

M. R. Arnô remercie M. Leblanc et ajoute que M. A. Blondel, dont le nom avait aussi été prononcé à propos de son travail, l'a autorisé à déclarer que son étude sur le rôle des fuites magnétiques dans les moteurs à champ tournant (¹) ne contient rien qui puisse être considéré comme constituant une antériorité propre à atténuer l'originalité du travail de M. Arnô.

(¹) *L'Éclairage Électrique*, du 27 novembre, p. 190.

(¹) *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 540.

En réponse à M. Korda, il annonce qu'il suffit, avec son système, de donner à la partie mobile, au « rotor » du moteur, une impulsion initiale de 1/6 ou 1/8 de tour pour assurer le démarrage ; pour obtenir automatiquement ce résultat il a essayé avec succès un procédé analogue à celui de M. Kando et a construit un commutateur dont la manœuvre produit automatiquement la mise en court circuit d'une partie de l'armature pendant un temps très court au moment de la fermeture, et rétablit ensuite les circuits dans l'ordre normal.

Relativement à l'intensité du courant de démarrage, il expose les résultats des expériences exécutées sur un moteur Brown de la puissance de 25 chevaux. Tandis qu'avec l'ancienne méthode l'intensité du courant de démarrage était de 250 ampères, avec la nouvelle méthode, elle n'a plus été que de 110 ampères, c'est-à-dire très voisine de l'intensité du courant de régime.

M. Ch.-Ed. Guillaume expose ensuite les résultats généraux des recherches qu'il a entreprises sur les propriétés physiques des aciers au nickel. Ces alliages que leurs propriétés mécaniques font rechercher par l'industrie présentent de nombreuses anomalies dont l'étude conduit à des conséquences importantes sur la constitution des alliages, car les résultats observés tendent à prouver que l'addition d'un métal à un autre n'entraîne pas un simple mélange, mais qu'il se forme une combinaison nouvelle jouissant de propriétés complètement différentes de celles des métaux employés.

C'est ainsi qu'on a remarqué, dès son apparition, que l'alliage « ferro-nickel », à 26 p. 100 de nickel, n'est pas magnétique aux températures ordinaires, alors que le fer et le nickel le sont tous deux. M. Hopkinson entreprit l'étude de ces phénomènes et reconnut en particulier que les propriétés magnétiques de ces alliages dépendaient non seulement de la température à laquelle était faite l'observation, mais encore des températures auxquelles l'alliage avait été porté avant l'expérience. C'est ainsi que des échantillons de ferro-nickel, non magnétiques à la température ordinaire, le devenaient quand on les refroidissait suffisamment et conservaient leurs propriétés magnétiques lorsque ensuite ils reprenaient la température ambiante. M. Hopkinson, trop occupé, ne put poursuivre ses recherches.

M. Osmond, puis M. M. Le Châtelier s'occupèrent aussi de cette question.

M. Guillaume fut conduit à étudier les aciers au nickel dans les circonstances suivantes : en mars 1895, un mètre à bouts en ferro-nickel fut confié au Bureau international des poids et mesures pour être vérifié. On reconnut que son coefficient de dilatation était à peu près moitié plus élevé que ne le faisait supposer la théorie. Comme la grande dilatation est un défaut dans les appareils de mesure plus encore que dans les appareils ordinaires, cette anomalie fut notée, mais les recherehes ne furent pas poursuivies.

Un an après ces premiers essais, un nouvel échantillon d'acier au nickel fut soumis au Bureau International. Cette fois on reconnut que, tout au contraire des premiers résultats obtenus, le coefficient de dilatation était non seulement de beaucoup plus faible que celui du fer ou du nickel, mais encore d'un tiers moins élevé que celui du platine, le métal le moins dilatable et qu'on emploie à cause de cette propriété, malgré son prix élevé. Les recherches complètes s'imposaient dès lors. Sur le conseil de M. Benoît, elles furent entreprises par M. Guillaume qui s'adressa dans ce but aux forge d'Imphy, de la Société Commentry-Fourchambault ; grâce à l'amabilité des directeurs de cette société, M. Guillaume a pu effectuer des expériences sur 39 échantillons d'aciers au nickel fabriqués spécialement pour ces expériences ; chaque échantillon avait un titre différent en nickel et était soigneusement analysé pour connaître sa composition chimique. L'ensemble de ces 39 échantillons pesait plus d'une tonne. C'est dire que

M. Guillaume a pu disposer d'une quantité suffisante de chaque alliage pour obtenir des résultats certains. Il a pu ainsi étudier les principales propriétés physiques des aciers au nickel : dilatabilité, élasticité, susceptibilité magnétiqne, conductibilité électrique.

Nous reproduirons bientôt les tableaux numériques et les courbes représentatives des résultats obtenus; une analyse plus complète sans ces courbes serait sans intérêt, étant donné que nous avons déjà analysé les recherches de M. Guillaume [1]. G. P.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 3 décembre 1897.

M. Carvallo donne des ***vérifications de la loi de dispension rotatoire magnétique*** énoncée récemment par M. H. Becquerel [2].

D'après cette loi, la rotation du plan de polarisation ρ est proportionnelle au produit $\lambda \frac{dn}{d\lambda}$; M. Becquerel a indiqué des vérifications tirées des expériences de Verdet sur la créosote et le sulfure de carbone pour une partie du spectre visible. M. Carvallo a utilisé les mesures de M. Joubin; pour le spectre visible il s'est servi d'une formule qu'il a établie autrefois et qui représente très exactement les résultats de Langley; on a, pour les premières raies du cadmium :

λ (valeur approchée)	1 0,64	2 0,54	4 0,51	5 0,48	6 0,47	7 0,44
$\frac{\rho}{\lambda \frac{dn}{d\lambda}}$	301	301	295	297	294	293

La constance des nombres de la seconde ligne est presque absolue; la légère diminution que l'on constate, tient peut-être à ce que les expériences de Langley auraient pu être encore susceptibles de quelques perfectionnements.

La formule employée s'étend de 5 μ à l'extrémité du spectre visible; pour aller plus loin il faut utiliser les valeurs de n données par M. Joubin. Malheureusement ces valeurs ne sont pas suffisamment précises pour permettre de les calculer, pas plus que les valeurs de $\frac{dn}{d\lambda}$, qu'une faible erreur sur la valeur de n fait varier considérablement. M. Carvallo tourne la difficulté en écrivant la formule de M. H. Becquerel :

$$\frac{\lambda d\lambda}{\lambda} = - K dn.$$

ou, en intégrant

$$\int_{\lambda_0}^{\lambda_1} \rho\,(d \log \lambda) = - K(n_1 - n_0).$$

On construit une courbe ayant pour ordonnées ρ et pour abscisses log λ et on mesure l'aire limitée par cette courbe et deux ordonnées dont la distance est choisie de telle façon que l'erreur relative sur l'aire soit de l'ordre de celle de $n_1 - n_0$. On trouve alors, pour les raies suivantes du cadmium

Raies de Cd	1	4	7	9	18	24
$\frac{\int \rho d \log \lambda}{\Delta n}$	297	294	299	299	349	

Les quatre premiers nombres sont très sensiblement égaux quoiqu'il y ait encore trace du passage de K par un minimum au voisinage des raies 4-7; la discordance du dernier nombre résulte de l'inexactitude certaine de la valeur de n donnée par M. Joubin pour la raie Cd 24.

M. Carvallo conclut que la loi de M. Becquerel, si elle ne représente pas les phénomènes en toute rigueur, donne certainement le terme de beaucoup le plus important. Il ajoute que le calcul, appliqué au sel gemme, au spath et au quartz, fait prévoir l'existence d'un minimum de pouvoir rotatoire magnétique pour des longueurs ayant respectivement la valeur suivante :

Sel gemme.	Spath.	Quartz.
2,15 gr	1,12 μ	1,0 μ

---

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 124, 10 juillet 1897.

[2] Voir *L'Éclairage Électrique* du 27 septembre, p. 419.

M. CHABAUD présente des *trompes à mercure*.

1° Le premier modèle est destiné surtout à la fabrication des *tubes à analyse spectrale*. Pour éviter l'introduction des gaz étrangers, le mercure traverse un purgeur constitué par un tube fin qui débouche au milieu d'une ampoule beaucoup plus large; le mercure repasse par la partie inférieure de l'ampoule et les gaz qu'il a pu entraîner restent à la partie supérieure. Le mercure tombe dans le vide; il est pris à la base d'une colonne de 1 m de hauteur, au-dessus de laquelle le vide est fait. Enfin M. Chabaud montre qu'on peut provoquer une rentrée d'air brusque, elle que celle qui résulterait d'une rupture, sans causer de dommage à l'appareil.

2° M. Chabaud a réuni sur un même bâti une trompe à mercure sans robinet et une *trompe à deux chutes*, imaginée par M. VILLARD. Dans cet appareil, deux ajutages coupés obliquement débouchent à l'intérieur d'une petite ampoule d'où partent les deux tubes dans lesquels tombe le mercure en colonne discontinue. Les essais ont montré que, si la pression d'écoulement est faible, une seule des chutes fonctionne, tandis qu'il se forme à l'autre une ménisque convexe de mercure qui contre-balance l'effet de la pression et arrête l'écoulement. Pour tourner la difficulté, M. Villard a imaginé de commander les deux ajutages par deux tubes très capillaires; la masse de mercure contenue dans une hauteur donnée de ces tubes varie comme la section et la vitesse en raison inverse de la section; la force est donc d'autant plus grande que la section est plus réduite; on crée ainsi une réserve de force vive qui régularise le mouvement. La chute peut avoir lieu à raison de 1 goutte ou 2 gouttes par seconde, mais toujours la hauteur des pistons successifs de mercure reste petite et le fonctionnement régulier. C. R.

Résultats des mesures d'électricité atmosphérique faites à l'observatoire royal géodynamique de Rocca di Papa,

Par CANCANI [1].

Les mesures ont été faites à l'aide de l'électromètre Thomson-Mascart; la station est à 700 m d'altitude au-dessus du collège Romain, où des expériences avaient été faites précédemment par l'auteur. Pendant une année, l'écoulement d'eau commençait à 5 m du sol, dans un espace compris entre deux murs distants de 8 m; pendant l'année suivante, le tube débouchait du côté du nord, à 4 m au-dessus d'une terrasse dominant tout l'édifice. Les potentiels mesurés sont plus élevés dans le second cas et leur variation diurne est beaucoup plus régulière.

En décembre, janvier et février, il y a un maximum vers 14 h (2 h de l'après-midi) et un minimum vers 4 heures.

En mars, avril et mai, le maximum du précédent trimestre est remplacé par un minimum, de part et d'autre duquel oscillent deux maxima au voisinage de 19 h et de 4 h.

En juin, juillet et août, les deux maxima du trimestre précédent arrivent à 8 h et 21 h; à 14 h apparaît un nouveau maximum; ces trois maxima diffèrent peu les uns des autres; les minima intermédiaires se produisent à 3 h, 12 h, 17 h.

En septembre, octobre et novembre, la variation est la même qu'en mars, avril et mai, ressemblant à celle qu'on observe à Rome à la même époque.

D'une façon générale, le potentiel est plus élevé à Rocca di Papa qu'à Rome; les valeurs du maximum étant respectivement 175 volts et 110 volts.

A Rocca di Papa les maxima sont à peu près aussi élevés en hiver qu'en été; les minima tombent en hiver de 110 à 60 volts.

Enfin, une série de mesures faites en avril à Monte Cano a donné un potentiel moyen

[1] *Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei*, VI, p. 112, 7 février 1897.

de 116 volts, tandis qu'on observait 80 volts à Rocca di Papa. C. R.

De l'impénétrabilité des enveloppes métalliques fermées aux ondes électriques,

Par Righi [1].

Il a été dit, à propos des expériences de M. Marconi sur la télégraphie sans fils [2] que les ondes électromagnétiques pouvaient agir sur le *cohéreur*, même quand celui-ci est renfermé dans une boîte métallique. Ce résultat, contraire à ce qu'avait observé Lodge, pourrait apporter un obstacle au libre emploi de ce système télégraphique, puisqu'il pourrait faire craindre l'explosion de matières enfermées dans une enveloppe de métal, par suite de la production d'une étincelle entre deux pièces métalliques placées à côté l'une de l'autre dans la substance explosive.

M. Righi s'est servi, pour étudier la question, d'un oscillateur à huile de vaseline formé de sphères de 8 cm de diamètre. Le cohéreur, mis en série sur deux piles au bichromate et une des bobines mobiles d'un galvanomètre de Wiedemann, est placé à l'intérieur d'une caisse de cuivre; la bobine se trouve très voisine de la suspension du galvanomètre, qui est en dehors de la boîte. Quand on prend la précaution de recourber les bords du couvercle et de les faire plonger dans du mercure qui remplit une gouttière soudée sur les bords supérieurs, le miroir du galvanomètre reste absolument immobile. Si l'on supprime le mercure qui établit la continuité de la protection métallique, l'image sort du champ de la lunette dès la première étincelle. Une solution de continuité ayant même la forme d'une fente très étroite suffit pour que l'action intérieure soit très énergique; une ouverture circulaire dans le couvercle ne donne lieu qu'à une action très faible. Tous ces résultats sont conformes à ceux qu'avait obtenus Lodge [1] avec des ondes moins intenses. C. R.

(1) *Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei*, t. VII, p. 59, 1er août 1897.

(2) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 220.

Sur la résistance électrique des solutions salines en mouvement;

Par Italo Bosi [2].

La différence de concentration autour des électrodes a donné lieu à deux hypothèses, celle de Hittorf avec les nombres de transport et celle d'Arrhenius avec les molécules multiples.

Au-dessus de ces hypothèses est l'hypothèse fondamentale que les ions transportent toujours la même quantité d'électricité.

La résistance électrique des solutions salines en mouvement peut fixer le degré de vérité des deux hypothèses précitées. Si celle de Hittorf est vraie, le mouvement du liquide ne doit pas faire varier la résistance; l'hypothèse d'Arrhenius conduit au contraire à une variation de la résistance pour les liquides qui présentent une différence de concentration aux électrodes, tandis qu'il ne doit pas y avoir d'altération de la résistance pour les liquides qui présentent l'électrolyse normale.

Edlund [3] qui a fait déjà des expériences à ce sujet, était arrivé aux conclusions suivantes: la résistance diminue quand le conducteur et le courant se meuvent dans le même sens, tandis qu'elle augmente s'ils se déplacent en sens contraire.

Mais les expériences d'Edlund ne sont pas à l'abri de toute critique, en particulier la polarisation, qui n'a pas été éliminée, a une grande influence sur les résultats.

M. Bosi se sert d'électrodes impolarisables et emploie une méthode électrométrique de zéro avec l'électromètre capillaire Lippmann (méthode Lippmann-Bouty-Pellat).

Un tube cylindrique long de 1 m environ

(1) Lodge, *The work of Hertz*.

(2) *Il Nuovo Cimento*, t. V, p. 249, avril 1897.

(3) *Ann. der Phys. und Chemie*, t. CLVI, p. 251.

et ayant une section de 1 cm^2 porte 3 tubulures, dans celle du milieu est placé un thermomètre, dans les deux autres H et K sont des électrodes impolarisables. Ces deux électrodes sont liées à un commutateur M duquel partent deux fils aboutissant l'un à l'électromètre, l'autre à une des bornes *m* d'une boîte de résistance R. L'autre extrémité *g* de cette boîte est reliée à l'électromètre.

Les extrémités du tube sont réunies à un galvanomètre, une résistance et un commutateur C qui permet d'introduire dans ce circuit une pile P.

La borne *g* de R est liée à une des bornes d'une deuxième boîte de résistance R′ identique à R. Ces deux boîtes sont dans le circuit d'une pile P′ et d'un interrupteur I.

Aux deux bouts du tube sont deux ballons, un jeu de robinets permet de laisser le liquide immobile ou de le faire circuler dans un sens ou dans l'autre avec une vitesse dont la constance est assurée par un flacon de Mariotte.

Pour faire une mesure on opère de la façon suivante :

On introduit la pile P dans le circuit du tube, le liquide est ainsi traversé par un courant et il s'établit entre les deux points H et K une différence de potentiel, l'extrémité du mercure se déplace dans le tube capillaire de l'électromètre.

Toutes les fiches de R étant en place, et celles de R′ enlevées, on ferme l'interrupteur I, le courant de la pile P′ traverse les deux boîtes de résistance ; mais le potentiel est le même en *m* et *g*.

On transporte alors les fiches de R aux positions correspondantes de R′ jusqu'à ce que la différence de potentiel produite ainsi entre *m* et *g* fasse équilibre à celle de H et K ; l'électromètre revient au zéro.

Soit e la différence de potentiel HK, i et r, l'intensité et la résistance du circuit du tube, i_1 et r_1 celles du circuit de la pile P′ ; on a :

$$e = ir = i_1 r_1.$$

On fait mouvoir ensuite le liquide en maintenant constantes les intensités i et i_1. Si la résistance HK change et devient r', la différence de potentiel change aussi et devient e'. Pour ramener l'électromètre au zéro, il faut que la résistance r_1 entre m et g, devienne r_2 et l'on a :

$$e' = ir' = i_1 r_2$$

d'où

$$\frac{e}{e'} = \frac{r}{r'} = \frac{r_1}{r_2}.$$

Le rapport $\frac{r_1}{r_2}$ est ainsi connu.

Les causes d'erreur possible ont été étudiées avec soin. Ce sont : la polarisation, la différence de potentiel due au mouvement même du liquide, la température, l'isolement, l'électrolyse, l'évaporation, la variation de la vitesse du mouvement, les piles.

Voici les conclusions auxquelles est arrivé l'auteur :

En général, le mouvement modifie la résistance, mais assez faiblement.

Les solutions, dans lesquelles l'électrolyse accroît la concentration au pôle positif, ont leur résistance augmentée si le liquide se meut dans le sens contraire à celui du courant, et diminuée s'il se meut dans le même sens ; l'augmentation est supérieure à la diminution.

Les solutions dans lesquelles l'électrolyse accroit la concentration au pôle négatif, ont au contraire leur résistance augmentée quand le mouvement du liquide et le courant sont de même sens, et diminuée dans l'autre cas ; l'augmentation est encore plus grande que la diminution.

La résistance ne varie pas sensiblement dans le cas des liquides à électrolyse normale.

Ces résultats sont en contradiction avec l'hypothèse de Hittorf ; mais ils ne concordent pas complètement avec celle d'Arrhenius, puisque l'augmentation dans un sens est supérieure à la diminution dans l'autre.

G. G.

CHRONIQUE

Journal de la Société physico-chimique russe. — Les volumes XXVIII et XXIX (1896) de ce journal ont été analysés dans le *Journal de Physique* par M. Lermantoff [1]. Nous citons ici quelques-uns des travaux d'électricité dont il n'a pas pas encore été parlé dans *L'Éclairage Électrique*.

A. Popoff. — *Appareil pour constater et enregistrer les oscillations électriques.* — L'auteur indique la modification suivante des tubes à limaille de Branly et Lodge. Sur la surface intérieure d'un tube de verre de 1 cm de diamètre, sont collées deux bandes en platine qui dépassent chacune un des bouchons qui ferment le tube, mais sans s'atteindre mutuellement. Le tube est rempli de limaille de fer de grosseur moyenne; la limaille grossière a une résistance trop inconstante et le fer obtenu au moyen de la réduction par l'hydrogène offre une trop grande résistance. Le tube est fixé horizontalement par une extrémité à un bout de ressort de montre très flexible; le courant d'une batterie de 5 à 10 volts circule constamment par le tube et l'électro-aimant d'un relais. La résistance du tube est d'environ 100 000 ohms et celle du relais de 250. Le relais met en mouvement son ancre quand le courant atteint la force de 5 à 10 milliampères, c'est-à-dire quand la résistance du tube tombe par l'action d'une décharge voisine à moins de 750 ohms. Il ferme alors un courant secondaire de la même batterie, contenant une sonnerie dont le marteau frappe à chaque coup de timbre, et, en revenant à sa position d'équilibre, rencontre un anneau de caoutchouc placé au milieu de la longueur du tube à limaille pour ramener sa résistance à la valeur initiale. L'appareil a donné d'excellents résultats à l'observatoire météorologique de l'Institut Forestier de Saint-Pétersbourg.

N. Kasankine. — *Sur une méthode pour mesurer les grandes résistances et la capacité de l'électromètre capillaire.* — Il faut un temps appréciable pour charger un électromètre capillaire de Lippmann avec un élément ayant une résistance supérieure à 10 mégohms; ce temps décroît quand les forces électromotrices augmentent. L'auteur s'est assuré par le raisonnement et l'expérience que le temps nécessaire pour faire augmenter la charge de l'électromètre capillaire d'une même différence de potentiel, suffisamment éloignée du maximum, est sensiblement proportionnel à la résistance de l'élément.

En supposant que la force du courant de charge change proportionnellement au temps, l'auteur trouve que la quantité d'électricité q nécessaire pour faire croître pendant le temps t la charge de e à e' volt, quand la résistance est r, s'exprime par :

$$q = \left(\frac{2e - e'}{2r}\right) t$$

L. Rosing. — *Théorie dynamique du magnétisme fondée sur l'hypothèse du mouvement magnétique de la matière.* La théorie proposée par l'auteur est fondée sur la loi de la conservation de l'énergie et sur le principe de la moindre action. Elle permet de traiter les questions générales sans trop préciser les hypothèses particulières sur le mécanisme des phénomènes.

En considérant l'hypothèse du flux magnétique comme un mouvement de l'éther le long des lignes d'induction, il est possible d'interpréter l'aimantation de la matière par le phénomène de réflexion du flux par ses molécules, réflexion avec ou sans changement de signe et d'intensité, selon la valeur de la réaction de la matière, déterminée par ses propriétés particulières.

A. Karnojitsky et prince B. Gatlitzine. — *Expériences sur le centre d'émanation des rayons X.* — Les auteurs ont photographié à l'aide des rayons de Rœntgen une planche couverte d'un réseau de carrés, dont chaque angle a été muni d'un clou d'égale longueur. Les ombres portées par ces clous permettent de juger de la position du point lumineux. Les expériences ont montré que les centres d'émanation des rayons X sont placés dans l'enceinte du tube non loin de la paroi. Il y en a ordinairement deux : un correspondant à la cathode, et l'autre, plus faible, à l'anode. D'ordinaire, les centres cathodiques sont placés en regard du disque cathodique à quelques millimètres de la surface intérieure du tube; quelquefois, principalement quand l'électrode est cylindrique, ils sont tout près de la cathode.

Expériences sur la polarisation des rayons X. — Un système de trois plaques en tourmaline,

[1] *Journal de Physique*, 3e série, t. VI, p. 601, novembre 1897.

parallèles ou croisées, étant photographié à l'aide des rayons X, produit des épreuves à peine différentes en intensité; mais l'absorption de la lumière par les tourmalines croisées devient évidente quand on intensifie le négatif par la méthode de Bourinsky, c'est-à-dire quand on prépare plusieurs épreuves pelliculaires identiques et qu'on les superpose pour obtenir l'épreuve définitive. Les auteurs considèrent cette expérience comme une preuve décisive que les rayons de Rœntgen sont susceptibles de polarisation [1].

W. Stcheglaieff. — *Sur quelques propriétés électriques des tubes de Crookes.* — Pour étudier le champ électrique d'un tube de Crookes, l'auteur a employé une plaque en zinc isolée réunie par un conducteur à un galvanomètre Thomson, dont la borne libre était en communication avec le sol. Quand la plaque était disposée dans le champ libre de la cathode, le galvanomètre accusait un courant négatif, c'est-à-dire dirigé du sol vers la plaque. Quand le courant était renversé, la cathode du tube devenait l'anode et aucun courant n'était indiqué. L'intensité du courant est inversement proportionnelle à la distance de la plaque à la cathode. Un écran conducteur placé entre le tube et la plaque affaiblit l'action et fait changer le sens du courant.

Le temps nécessaire à la disparition d'une charge positive d'un électroscope est inversement proportionnel au carré de sa distance au foyer du tube, si le champ est libre. Un écran interposé agit comme s'il émettait une onde plane de lumière ultra-violette, et le temps nécessaire à la disparition de la charge devient indépendant de la distance.

Les faits observés s'accordent bien avec l'hypothèse des *courants radiaux* dans le champ du tube, proposée par Boltzmann et appliquée par l'auteur au cas considéré. L'assimilation des rayons de Rœntgen à des tourbillons qui résultent de ces courants radiaux explique l'absence de réflexion, de réfraction, de polarisation et d'interférence.

L'action photographique même des rayons de Rœntgen paraît être un phénomène électrique. Ayant placé dans le champ du tube deux plaques sensibles dont les couches de gélatine ont été tournées l'une contre l'autre et séparées par une mince couche d'air, l'auteur a, dans les circonstances favorables, obtenu une image négative sur la première plaque et positive sur la deuxième; celle-ci doit se charger d'électricité contraire à la première, qui joue pour elle le rôle de l'écran conducteur.

[1] Cette expérience a été contestée : Jean Perrin, *Thèse* et *Journal de Physique*, 3e série, t. V et VI.

P. Bakhmetieff, Christodulos et Georgieff. — *Influence de la température du milieu ambiant sur les courants électriques de refroidissement.* — M. Bakhmetieff à déjà émis l'opinon que les courants électriques dus au refroidissement et à la solidification d'un métal fondu ont pour cause le déplacement d'éther produit par la variation du volume du métal [1]. Les nouvelles expériences constatent l'invariabilité du courant pendant tout le temps de la solidification du métal, et l'augmentation de son intensité par l'abaissement de la température ambiante qui accélère le refroidissement. L'auteur voit dans ces faits une preuve nouvelle à l'appui de son hypothèse.

A. Sadowsky. — *Forces pondéromotrices des ondes électromagnétiques et lumineuses.* — En suivant les idées de Maxwell, l'auteur a été conduit aux résultats suivants : une lame cristalline, en transformant une onde magnétique polarisée dans un plan en une onde polarisée elliptiquement, c'est-à-dire en un champ magnétique tournant, éprouve elle-même une tendance à tourner dans le sens inverse des forces électromagnétiques. Un flux d'ondes électromagnétiques planes, polarisées circulairement, en tombant normalement sur des lames de $\frac{1}{4}\lambda$, $\frac{2}{4}\lambda$ et $\frac{3}{4}\lambda$ est obligé de leur communiquer une tendance à la gyration continue dans le sens des forces électromagnétiques des ondes incidentes, mais ne produit aucune action sur la lame de $\frac{4}{4}\lambda$.

Dans tous les cas, le moment de rotation est égal à la quantité d'énergie transmise à travers la lame pendant la durée d'une oscillation, par les forces électriques seules. L'application de la théorie de Fresnel donne des résultats qualitativement presque identiques, mais deux fois plus grands en valeur numérique. En supposant la valeur de la constante solaire égale à 3, on obtient par la théorie de Maxwell pour la valeur du mouvement de rotation

$$M = 10^{-9} \text{ erg}$$

environ.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 430.

Statistique des tramways, en Amérique. — Notre confrère new-yorkais, *The Street Railway Journal*, qui a entrepris depuis plusieurs années une étude statistique très détaillée du développement des tramways aux États-Unis, tant au point de vue industriel qu'au point de vue financier, publie dans son numéro d'octobre dernier de très intéressants tableaux qui ont été dressés d'après des documents officiels ou d'après les rapports communiqués par les compagnies et qui peuvent, par conséquent, être considérés comme à peu près rigoureusement exacts.

Ces tableaux que nous résumons plus bas montrent l'importance que la traction électrique a prise de l'autre côté de l'Atlantique : sur 33 522 km de voies de tramways (voies simples) qui sillonnent les Etats-Unis et le Canada, 22 950 km sont exploités électriquement. La traction par cheval tend de plus en plus à disparaître, ainsi du reste que les autres procédés de traction, devant les procédés électriques plus économiques et plus commodes; au Canada, il ne reste plus que 19 km de voie simple où règne encore « la plus noble conquête de l'homme ». Quant au capital engagé dans ces exploitations, il est vraiment fantastique : à l'heure actuelle, il dépasse 7 milliards 396 millions!

Un point particulièrement intéressant mis en lumière par les tableaux détaillés du *Street Railway Journal*, c'est que le développement prodigieux des tramways en Amérique n'a pas porté seulement sur les régions à population dense, mais encore et surtout sur les campagnes, où la possibilité d'établir un service rapide et économique sur des lignes de grande longueur a permis de réunir les villages entre eux et aux grands centres, tandis que la traction animale eût été trop coûteuse. On voit en effet dans ces tableaux que la longueur de voies établie par 1 000 habitants, dans les états à population éparse est plus grande que dans les états à population dense, comme l'état de New-York, par exemple. Cela n'implique pourtant pas, comme semble conclure le rédacteur, que le service soit meilleur dans les premières régions que dans les secondes, car la fréquence des départs, le nombre et la capacité des départs ont à ce point de vue une importance plus considérable encore que la longueur des lignes, qui dépend, elle, de la configuration du terrain.

Enfin, un dernier point très intéressant de cette statistique réside dans la comparaison du développement des réseaux depuis 1880 jusqu'en 1897.

En 1880, le nombre de kilomètres de voies de

TABLEAU III. — LONGUEUR DES VOIES ET CA

		ÉTATS DE LA NOUVELLE ANGLETERRE		ÉTATS DE L'EST	
		1896	1897	1896	1897
Nombre de lignes totales		113	138	294	308
Tramways électriques.	Voies en kilomètres	2 766	2 468	6 214	7 192
	Nombre de tramways moteurs	4 808	5 991	10 282	11 273
	— de tramways remorqués	760	560	1 373	1 751
Tramways à câbles.	Voies en kilomètres	»	»	236	203
	Tramways à gripps	»	»	1 399	1 586
	— remorqués	»	»	290	325
Tramways à chevaux.	Voies en kilomètres	141	64	662	630
	Nombre de tramways	787	485	2 855	3 492
Tramways divers systèmes.	Voies en kilomètres	9,6	9,6	200	316
	Tramways	9	3	2 097	2 090
	Total des voies	2 916	3 441	7 414	8 352
	Total des tramways	6 364	7 039	18 396	20 517
	Capitaux engagés en francs	496 711 075	532 454 575	3 414 507 600	3 618 343 42[illegible]
	Par kilomètres de voie	170 000	154 450	459 575	432 430
Capital engagé par tête d'habitant (moyenne) en francs		133,25		218,50	
Population par kilomètre de ligne (moyenne)		1 375		2 000	
Population en 1890		4 700 800		16 560 900	

tramways était, aux États-Unis, de 3 280 km; en 1890, il était de 12 895 km et, en 1897, le nombre total de kilomètres, dans les différentes contrées, était de 25 149 km, soit un accroissement de 93,5 p. 100 sur la statistique de l'année 1890.

Le tableau I montre comment se répartissaient les kilomètres exploités par les divers modes de traction employés en 1890 et en 1897 :

TABLEAU I. — COMPARAISONS DES LONGUEURS DES RÉSEAUX EXPLOITÉS AUX ÉTATS-UNIS EN 90 ET 97

	ANNÉE 1890	ANNÉE 1897	AUGMENTATION ET DIMINUTION p. 100
Traction animale	9057,6	1515,2	83,3 en diminution.
— électrique	1 919,2	22 024	990,7 en augmentation.
— par câble.	780,8	862,4	10,5 —
— par systèmes divers	1 137,6	747,2	34,3 en diminution.
Total.	12 895,2	25 148,8	93,5 en augmentation.

Le nombre de voyageurs par tramway et par an, a augmenté de 32 505, qu'il était en 1890, à 51 532 en 1897, soit une augmentation de 58,5 p. 100.

Si l'on compare, pour ces deux mêmes années, les statistiques concernant les capitaux engagés dans ces entreprises et exprimés en francs, on trouve les résultats indiqués dans le tableau II.

On voit que l'introduction des systèmes de traction électrique a eu pour conséquence d'entraîner une augmentation considérable du capital engagé par km de voie, puisque ce capital s'est augmenté de 307,3 p. 100 alors que la longueur totale des lignes n'a subi qu'un accroissement de 94,5 p. 100. Il est vrai que beaucoup des installations ont donné lieu à des opérations financières qui n'ont rien à voir avec l'industrie.

…AUX ENGAGÉS DANS LES TRAMWAYS EN AMÉRIQUE

ÉTATS DU CENTRE		ÉTATS DU SUD		ÉTATS DE L'OUEST		TOTAL DES ÉTATS-UNIS		CANADA	
1896	1897	1896	1897	1896	1897	1896	1897	1896	1897
259	262	93	91	157	154	916	953	30	32
6 568	7 334	1 268	1 340	2 595	2 788	19 413	22 024	720	794
7 881	5 577	1 295	1 424	1 876	2 160	26 242	29 659	714	836
8 811	5 533	275	280	744	753	8 729	8 877	436	376
386	376	1,6	1,6	334	272	960	862	»	»
1 211	1 234	2	2	863	788	3 475	3 610	»	»
942	1 120	»	»	164	144	1 396	1 589	»	»
336	213	262	210	549	397	1 950	1 515	10,8	19
733	377	309	268	699	522	5 383	5 144	37	33
70	45	220	187	239	189	820	747	»	»
413	256	222	213	216	91	2 957	2 653	»	»
7 360	7 968	1 753	1 740	3 707	3 646	23 150	25 148	739	816
16 757	17 331	2 103	2 187	4 562	4 458	48 182	51 532	1 187	1 245
993 887 425	2 228 940 615	263 202 875	260 127 875	708 742 285	706 187 985	6 875 550 860	7 396 054 345	112 711 500	115 898 000
270 190	285 480	149 760	149 135	190 630	193 440	286 400	294 520	152 255	141 640
107,40		22,00		91,00		119,20		24,00	
2 688		6 812		2 124		2 500		5 940	
21 223 400		11 814 700		7 758 300		62 058 100		4 829 411	

Tableau II. — Comparaison des capitaux engagés en 1890 et 1897

	ANNÉE 1890	ANNÉE 1897	AUGMENTATION p. 100.
Capital actions	1 056 388 990	4 230 558 455	300,5
— obligations	759 361 445	3 165 395 890	316,8
— total	1 815 740 435	7 395 954 345	307,3
— actions par kilomètre de voie	130 050	269 000	106,8
— obligations —	93 480	201 500	115,8
— total —	223 430	470 500	110,5

Nous donnons, dans le tableau III, le détail des chiffres du tableau II, qui sont des moyennes, répartis entre les différents États qui les ont fournis.

Si l'on considère les différents États, le capital engagé par tête d'habitant varie de 423,40 fr (district de Colombie), à 208,35 fr (Pensylvanie), avec une moyenne de 250 fr.

La population, par kilomètre de voie, varie de 40 312 habitants (Mississipi) à 5 940 (Vermont) avec une moyenne de 20 000 habitants par kilomètre de voie.

La population, par kilomètre de ligne, varie de 1 500 habitants (Rhodes-Island) à 937 habitants (Californie) avec une moyenne qui se maintient à 1 200 habitants par kilomètre de ligne.

Enfin, disons que le nombre de kilomètres de tramways équipés électriquement est de 87,7 p. 100; celui des tramways à câble de 3,4 p. 100; celui des tramways à chevaux de 6 p. 100 et celui des divers systèmes de 3 p. 100.

Le total des dépenses, faites sur les tramways, a été en 1890 de 458 609 225 fr. Le total des dépenses d'exploitation a été de 310 055 925 fr; celui des charges fixes de 69 894 515 fr. Le revenu net a été de 83 658 785 fr, ce qui a permis de payer comme dividende une somme totale de 50 903 630 fr.

Le tableau IV indique comment. si l'on divise le territoire des États-Unis en quatre sections, se trouvent répartis la population, les longueurs de voies, le capital engagé, etc.

Tableau IV

	POPULATION (En p. 100)	KM de voies. (En p. 100)	CAPITAL engagé. (En p. 100)	POPULATION par kilomètre de voie.	CAPITAL engagé par tête d'habitant en fr
Section A. { Etat de la Nouvelle Angleterre. Etats de l'Est. }	34,3	46,9	56,1	2900	195,2
Section B. Etats du Centre	34,3	31,7	30,8	4800	10⁻,4
Section C. Etats du Sud	19,0	6,9	3,5	10900	22,0
Section D. Etats de l'Ouest	12,5	14,5	9,6	3400	91,0

Ajoutons cependant que ces tableaux auraient demandé à être complétés par l'étude comparative du nombre de voyageurs transportés, des recettes, des dépenses et des bénéfices réalisés. Malheureusement, les Compagnies n'ont pas consenti à donner les matériaux nécessaires à cette étude.

Les chiffres qui précèdent présentent un intérêt spécial, en ce qu'ils permettent, dès maintenant, de juger l'importance des capitaux engagés par rapport aux kilomètres de voies établies et en tenant compte de la densité de la population.

Quoique ces chiffres soient obtenus en Amérique, et avec des conditions de trafic qui sont loin d'être réalisées en Europe, et plus spécialement en France, ils ont néanmoins le grand intérêt de nous donner l'ordre de grandeur des coefficients qui intéressent les spécialistes; c'est surtout en nous plaçant à ce point de vue que nous les avons donnés à titre de document.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XIII. Samedi 18 Décembre 1897 4e Année. — N° 51.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

SUR UNE APPLICATION
DES IMAGINAIRES AU CALCUL DES COURANTS ALTERNATIFS

On connaît tout le parti qu'il est possible de tirer de l'application des quantités imaginaires au calcul des courants alternatifs : nous rappellerons brièvement le principe de cette application.

Soient (fig. 1) Ox, Oy deux axes de coordonnées rectangulaires; nous adopterons, pour sens positif de rotation, le sens de Oy vers Ox, pour nous conformer aux notations de Steinmetz qui a longuement développé la méthode qui nous occupe. Soit maintenant une grandeur alternative quelconque dont la valeur efficace est A et dont le retard de phase sur la grandeur alternative dont on prend la phase pour origine est φ. Nous savons que cette grandeur peut être représentée par un vecteur OA de longueur A faisant un angle φ en arrière de l'axe Ox. La connaissance de ce vecteur est complète si l'on connaît à la fois ses deux projections :

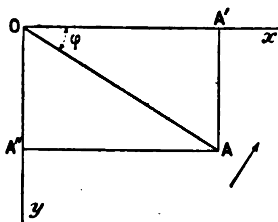


Fig. 1.

$$OA' = A \cos \varphi$$
$$OA'' = A \sin \varphi$$

ou, ce qui revient au même, si l'on connaît la grandeur imaginaire

$$OA' + iOA'' = A (\cos \varphi + i \sin \varphi).$$

Nous désignerons cette grandeur imaginaire par [A]. Ainsi toute grandeur alternative, de valeur efficace A et de phase φ, pourra être représentée par une grandeur imaginaire [A].

Cela posé, soit une force électromotrice [E] agissant dans un circuit de résistance r et de réactance s. On démontre aisément que l'intensité sera donnée par la formule :

$$[I] = \frac{[E]}{r - is}$$

ou, en posant

$$r - is = R$$
$$[I] = \frac{[E]}{R}.$$

On retrouve ainsi la loi de Ohm, telle qu'elle s'applique au courant continu, la résistance étant simplement remplacée par

l'impédance imaginaire $r - is$ et l'intensité et la force électromotrice étant représentées sous forme d'imaginaires, comme il a été expliqué plus haut.

Cette analogie si complète entre les formules du courant alternatif et celles du courant continu m'a conduit à rechercher ce que deviendrait, dans ce mode de représentation, le calcul d'une puissance : en courant continu, la puissance d'un générateur (puissance électrique *fournie* au circuit) est simplement égale au produit de sa force électromotrice par le courant qui le traverse. Prenons maintenant un générateur à courant alternatif de force électromotrice efficace $|E|$ sa représentation sera

$$[E] = E(\cos\varphi + i\sin\varphi)$$

et sa valeur réelle en fonction du temps :

$$E\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi).$$

Supposons que ce générateur soit parcouru par un courant I de phase φ'. La représentation imaginaire de ce courant est :

$$[I] = I(\cos\varphi' + i\sin\varphi')$$

et sa valeur réelle en fonction du temps est :

$$I\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi').$$

Nous savons que la puissance mise en jeu dans l'alternateur est :

$$EI\cos(\varphi - \varphi').$$

Pour retrouver cette valeur dans la théorie des imaginaires, on pourrait être tenté de former le produit $[E][I]$. En réalité, ce produit ne donnerait rien d'intéressant. Mais, dans l'une ou l'autre des deux expressions $[E]$ et $[I]$ changeons i en $-i$, puis faisons le produit, il vient :

$$EI(\cos\varphi + i\sin\varphi)(\cos\varphi' + i\sin\varphi')$$

ou :

$$EI\cos(\varphi - \varphi') + EI\sin(\varphi - \varphi')\,i.$$

On voit que maintenant la partie réelle de ce produit représente la puissance cherchée.

Nous arrivons donc à la règle pratique suivante :

Lorsque l'on a une force électromotrice et une intensité exprimées sous forme d'imaginaires, pour trouver la puissance correspondante, on change i en — i dans l'une ou l'autre de ces expressions (à volonté) ; on fait le produit ; la partie réelle de ce produit représente la puissance cherchée.

On fera autant que possible ce changement dans l'expression la plus simple ; en particulier, si l'une des deux valeurs est réelle, il est évident qu'il n'y a aucun changement à faire.

Application. — Nous appliquerons cette méthode au cas d'un transport de puissance mécanique par alternateur et moteur synchrone. Soit (fig. 2) l'alternateur A et le moteur synchrone B.

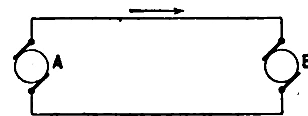


Fig. 2.

Nous prendrons un sens positif arbitraire sur le circuit général, et nous considérerons le courant comme positif quand il circule dans ce sens, les forces électromotrices comme positives quand elles tendent à donner des courants dans ce sens. Soit E_1 la force électromotrice efficace du générateur dont nous prendrons la phase pour origine, E_2 celle du moteur. E_2 présente sur E_1 un retard θ : donc :

$$[E_2] = E_2(\cos\theta + i\sin\theta).$$

La force électromotrice totale qui agit dans le circuit est :

$$E_1 + E_2(\cos\theta + i\sin\theta).$$

Soit r la résistance, s la réactance totale du circuit ; l'impédance imaginaire est $r - is$ et le courant est :

$$[I] = \frac{E_1 + E_2(\cos\theta + i\sin\theta)}{r - is}.$$

Cherchons la puissance électrique P_2 absorbée par le moteur et transformée en puis-

sance mécanique; la puissance électrique *fournie* par le moteur sera alors $-P_2$; d'après ce qui précède, pour trouver $-P_2$, nous changerons i en $-i$ dans l'une des deux expressions $[E_2]$ et $[I]$; (ici nous choisirons $[E_2]$), et nous ferons le produit. Nous aurons ainsi :

$$-P_2 = \text{partie réelle de :}$$

$$E_2(\cos\theta - i\sin\theta)\,\frac{E_1 + E_2(\cos\theta + i\sin\theta)}{r - is}$$

$$-P_2 = \frac{E_1E_2(r\cos\theta + s\sin\theta) + rE_2^2}{r^2 + s^2}.$$

C'est l'expression bien connue de la puissance d'un moteur synchrone que l'on trouve en particulier dans le beau mémoire de M. Blondel sur ce sujet.

On voit combien la méthode des imaginaires amène rapidement au résultat; on pourrait multiplier les exemples semblables, l'appliquer par exemple aux mémoires que M. Boucherot a publiés autrefois sur le couplage des alternateurs; il en résulterait des simplifications notables. Nous ne saurions donc trop engager les électriciens qui s'occupent de courants alternatifs à répandre cette méthode des imaginaires qui bien souvent évite des calculs longs et fastidieux.

P. Janet.

Chargé de cours à la Faculté des sciences de l'Université de Paris.
Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'électricité.

RECHERCHES SUR LA PROPAGATION DES RAYONS X

Je me suis constamment proposé de comparer les propriétés des rayons X aux propriétés que pourraient avoir des rayons ultra-violets de longueurs d'onde extrêmement petites. Cette méthode de travail restera nécessaire et logique tant qu'un fait nouveau n'obligera pas à distinguer formellement les rayons X des vibrations transversales de l'éther qui constituent les ondes lumineuses. Jusqu'à présent l'hypothèse des rayons X rayons ultra-violets suffit à l'interprétation de tous les faits connus.

Propagation rectiligne dans l'air. — Dès qu'il eut découvert les rayons X, M. Rœntgen constata leur propagation rectiligne sans diffraction (1). M. J. Perrin indiqua le premier un dispositif précis pour constater la perfection de cette propagation rectiligne (2) : les rayons X transmis par une fente métalique fine tombent sur une fente plus large située 5 cm plus loin. Une plaque photographique placée à 10 cm au delà enregistre un faisceau de rayons X nettement limité aux bords de la seconde fente sans franges de diffraction; la même expérience répétée avec la lumière du tube, à châssis ouvert, donne cependant des franges de diffraction nettement visibles (franges de Fresnel dans le cas d'un bord rectiligne).

J'ai eu l'occasion de répéter incidemment cette expérience de M. J. Perrin sur des distances beaucoup plus grandes : la distance de la plaque photographique à la seconde fente a été portée jusqu'à 90 cm et le résultat est demeuré le même, il n'y a pas eu de franges de diffraction (1).

La méthode précédente présente deux inconvénients :

1° Il est difficile de conclure de l'absence de franges de diffraction de Fresnel à la non-interférence des rayons X, de manière à établir une limite supérieure des longueurs d'onde possibles des rayons X. Si, en effet, le faisceau de rayons X émané du tube de

(1) W.-C. Rœntgen. Sur une nouvelle espèce de rayons. *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 241.

(2) J. Perrin, Quelques propriétés des rayons de Rœntgen. *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 246.

(1) G. Sagnac. Sur la diffraction et la polarisation des rayons de M. Rœntgen, *Comptes rendus* du 30 mars 1896, t. CXXII, p. 784, en note.

Crookes comprend des rayons de longueurs d'onde suffisamment différentes, le phénomène de Fresnel peut disparaître.

2° La visibilité des franges de Fresnel exige que la première fente soit suffisamment fine, ce qui réduit l'intensité des rayons X utilisés à très peu de chose. Or justement on doit chercher avant tout à augmenter cette intensité pour pouvoir, avec un même temps de pose, éloigner la plaque photographique et augmenter ainsi la précision de l'expérience.

La méthode suivante n'est pas sujette à ces critiques :

Si l'on regarde un objet quelconque O à travers un grillage de fils opaques suffisamment serrés, on voit les bords de l'objet O multipliés et colorés par suite de la diffraction de la lumière à travers le grillage fonctionnant comme réseau de Fraunhofer. L'observation est particulièrement nette quand on observe ainsi un paratonnerre éloigné à travers une toile métallique un peu fine. Ainsi, l'observation à travers un réseau remplace un objet lumineux par une image virtuelle plus large ou à bords multipliés. Quelle que soit la complication du spectre des radiations incidentes, l'élargissement par multiplication des bords est une conséquence nécessaire de l'épanouissement des pinceaux de rayons par diffraction. La première objection sera donc écartée.

Maintenant nous ne pouvons pas, comme dans l'expérience précédente, utiliser l'œil comme instrument d'observation, non seulement parce qu'aujourd'hui encore il est difficile de voir les rayons X, mais parce qu'il faudrait former une image de l'objet d'où partent les rayons X, et, ni les milieux de l'œil ni aucune substance connue ne concentrent les rayons X par réfraction.

Mais nous pouvons, sans réfraction ni réflexion, obtenir l'image de l'objet O au moyen d'une chambre noire de Porta, c'est-à-dire au moyen d'une petite ouverture [1].

Au lieu d'un petit trou, nous pouvons employer une fente f à condition que l'objet O présente un bord rectiligne parallèle à la fois à cette fente et aux fentes du réseau. Nous sommes conduits alors à prendre pour objet O une large fente F, puisque l'épanouissement des deux bords de l'image doublera l'effet observé. Enfin il n'est pas nécessaire que la fente f soit très fine ; il n'y a aucun intérêt ici à avoir des images très pures ; nous comparerons l'image I fournie par les rayons transmis par le réseau à l'image sans diffraction I_0 formée ***sur la même plaque*** par les rayons librement transmis au-dessous du réseau ***pendant la même expérience***.

Le réseau R employé est un réseau de fils de *platine* d'un peu moins de $\frac{1}{20}$ de millimètre de diamètre ; l'intervalle fondamental est de $\frac{1}{10}$ de millimètre. Ce réseau est placé derrière la fente f, c'est-à-dire à l'intérieur de la chambre noire, sous une incidence d'environ 45°, ce qui augmente ici beaucoup l'épanouissement des images sans modifier sensiblement leur intensité.

On observe d'abord les phénomènes lumineux produits sur le verre dépoli P d'une grande chambre noire.

Les réglages de parallélisme sont faits, avec une précision largement suffisante ici, en produisant le maximum de netteté des franges de Fresnel de la deuxième fente éclairée par la première rendue fine ; puis en élargissant la première F, rendant la seconde f fine et amenant le réseau R à donner des ombres très nettes de ses fils. On élargit enfin la seconde fente f jusqu'à voir disparaître les ombres des fils. La première fente F a une largeur de 1 mm ; l'intensité des rayons est bien utilisée. On voit alors, pour $Ff = 75$ mm et $RP = 350$ mm, l'image

[1] Cette méthode a été depuis longtemps appliquée à la photographie posée par M. le capitaine Colson (*La Photographie sans objectif*). Au moment où je l'appliquais à la diffraction des rayons X, M. J. Perrin l'employait de son côté à la radiographie du tube de Crookes afin de reconnaître les parties du tube d'où émanaient ces rayons (J. Perrin, *Comptes rendus* du 23 mars 1896, t. CXXII, 716).

supérieure I, fournie par le réseau, plus large de 7 mm au moins que l'image inférieure I_0, en ne considérant même que la partie la plus lumineuse de I et négligeant les régions peu intenses des bords. Pour plus de précision, un cliché du phénomène est obtenu en lumière monochromatique jaune du sodium, au moyen d'une plaque photographique sensible au jaune et au vert.

On opère alors avec les rayons X. La radiographie ainsi obtenue ne montre pas de différence de largeur entre les deux images I et I_0, à 1/4 de millimètre près. Les longueurs d'onde possibles des rayons X sont donc notablement inférieures à celles qui donneraient un élargissement de 1/2 mm, c'est-à-dire au moins 14 fois plus petit que l'élargissement donné par la lumière de la raie D. Ces longueurs d'onde sont donc notablement inférieures à 0,04 μ.

On aurait pu donner 0,01 μ pour cette limite d'après une expérience où RP atteignait 900 mm, si, pour plus de sûreté, l'on n'avait préféré rejeter cette expérience dans laquelle l'impression photographique était un peu faible. Il faut bien remarquer qu'au moment de ces expériences on ne possédait pas les tubes focus très intenses dont on dispose aujourd'hui. On ne doit pas s'étonner que, malgré la bonne utilisation des rayons X issus de la paroi de verre du tube à vide, la pose ait dû être portée à 55 heures. Pour ne pas affaiblir rapidement le tube de Crookes il a paru nécessaire de faire durer l'expérience 11 jours. Malgré cela, la stabilité des différentes parties de l'appareil a été réalisée de telle façon que les bords de l'image I présentent nettement les images des fils de platine du réseau.

C'est justement en produisant l'ombre d'un fil de platine très fin, et surtout l'ombre des bords d'une fente très étroite, que M. Gouy [1] a pu reculer encore la limite supérieure des longueurs d'onde des rayons X jusqu'à 0,005 μ et même plus loin. La durée de pose n'a cependant pas excédé quatre heures, ce qui a paru nécessaire à l'auteur pour pouvoir faire un examen optique délicat des clichés obtenus. Cette pose relativement courte tient à ce que, depuis mes expériences, on avait inventé les *tubes focus*, considérablement plus puissants que les tubes du genre tube à croix. De plus, M. Gouy avait remarqué que les rayons X sont émis à peu près avec la même intensité dans les directions très obliques à la lame plane du focus que dans la direction normale à cette lame. Dès lors, pour former l'ombre du fil de platine il n'était pas nécessaire de prendre, comme dans l'expérience de M. J. Perrin, une première fente fine; cette fente était supprimée et la source de rayons X était la lame focus elle-même vue du fil ou de la fente presque par la tranche. Ces expériences de M. Gouy sont et demeureront longtemps les meilleures expériences sur la propagation rectiligne des rayons X. Pour rechercher photographiquement les longueurs d'onde possibles des rayons X bien au-dessous de 0,005 μ il faudrait un nouveau progrès important dans la construction des tubes producteurs de rayons X.

Interprétation des expériences précédentes sur la propagation des rayons X. — Il est bien entendu que la limite supérieure 0,005 μ s'applique seulement aux rayons X issus du tube de Crookes particulier employé, transmis à travers une épaisseur de 5 m d'air à la pression atmosphérique [1], transmis enfin à travers le volet de bois du châssis et capable d'impressionner, après tous ces filtrages, la plaque photographique particulière employée. A ce point de vue, il resterait à étudier la diffraction des rayons X produits à des degrés de vide variés dans différents gaz, l'hydrogène, par exemple, et *transmis dans le vide*

(1) Gouy, Sur la réfraction et la diffraction des rayons X, *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 567, et t. VIII, p. 131.

(1) Cet air doit renfermer d'ailleurs de l'ozone engendré par les effluves électriques qui accompagnent la production des rayons X.

après avoir seulement traversé la paroi d'un tube de Crookes qu'il conviendrait de réaliser successivement avec diverses substances, telles que l'aluminium, le quartz, le spath fluor. L'importance de ces remarques est évidente si l'on se souvient de l'absorption des rayons ultra-violets par l'air [1]; en particulier les rayons ultra-violets de longueur d'onde 0,1 μ sont absorbés par $\frac{1}{10}$ mm d'épaisseur d'air [2] et n'ont pu être découverts par M. Schumann qu'en opérant dans le vide et avec des plaques photographiques toutes spéciales. Il est donc possible que les expériences précédemment décrites éliminent précisément dans le faisceau complexe des rayons X possibles, ceux-là mêmes qui pourraient présenter une diffraction sensible à nos moyens d'observation.

Au sujet de l'influence de l'air traversé, il convient de rappeler ici la *dissémination des rayons X* par l'air, à laquelle j'avais songé dès le début d'après l'aspect voilé des radiographies obtenues à grande distance (90 cm, par exemple, de trajet libre dans l'air) [3]. On sait comment M. Rœntgen a nettement montré l'existence du phénomène [4]. Le fait remarquable que la propagation des rayons X demeure rectiligne avec une très grande perfection, malgré la dissémination par l'air, démontre que cette dissémination n'est pas due à un phénomène de diffraction analogue au phénomènes des couronnes ou des halos. C'est une dissémination en tous sens qui peut être comparée soit à un phénomène de fluorescence, soit à une diffusion analogue à la diffusion de la lumière par la fumée de tabac ou par un milieu trouble dont les particules ont des dimensions inférieures, mais comparables aux longueurs d'onde. Les longueurs d'onde possibles des rayons X seraient, d'après la seconde manière de voir, comparables aux dimensions des particules des gaz, c'est-à-dire probablement inférieures à la millième partie des longueurs d'onde moyennes du spectre visible. Mais, pour confirmer cette manière de voir, il n'y aurait guère d'autre moyen que de montrer, si les rayons X sont réellement des vibrations transversales de l'éther, que cette diffraction supposée produite par les particules des gaz est accompagnée de polarisation. Pour cela, on pourrait provoquer deux diffusions successives par l'air, à angle droit l'une de l'autre. Si les deux diffusions successives donnaient un effet sensible quand elles auraient lieu dans le même plan, cet effet devrait disparaître quand les deux diffusions auraient lieu (toujours à angle droit l'une de l'autre), dans des plans rectangulaires. La première diffusion devrait fournir en effet des vibrations polarisées dans le plan de diffusion, la seconde diffusion jouerait le rôle optique du nicol qui respecte la vibration incidente ou l'éteint. Mais nous verrons ultérieurement que cette manière de voir est peu vraisemblable et que la première hypothèse, celle de la luminescence, doit, au contraire, être adoptée.

Fausses apparences de diffraction des rayons X. — Un très grand nombre d'observateurs [1] ont cru observer et signalent encore maintenant des franges de diffraction obtenues avec les rayons X. J'ai montré que les lois de ces apparences diffèrent radicalement des lois de la diffraction ordinaire et qu'elles sont, pour les rayons X *comme pour les rayons lumineux*, dictées par les positions des limites de pénombre et de pleine lumière [2]. Cela explique pourquoi les valeurs

(1) Cornu, *Comptes rendus*, t. LXXXVIII, p. 1101, p. 1285; t. LXXXIX, p. 808.

(2) Schumann, *Revue générale des Sciences*, t. V, p. 324, 1894.

(3) *Comptes rendus* du 30 mars 1896 et du 15 juillet 1897, *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 281.

(4) W.-C. Rœntgen, Nouvelles observations sur les propriétés des rayons X. *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 157.

(1) Citons par exemple : L. Calmette et G.-T. Thuillier, *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 877; L. Fomm, *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 41; Kümmell, *Abhandlungen der Naturf. Gesell. zu Halle*, t. XXI; J. Precht, *L'Éclairage Électrique*, t. XIII, p. 376 (20 novembre 1897), etc.

(2) G. Sagnac, *Journal de Physique*, avril 1897, t. VI, p. 172 et 173.

données par divers observateurs pour les longueurs d'onde des rayons X sont inacceptables et d'ailleurs en contradiction absolue les unes avec les autres.

Depuis, plusieurs observateurs, et M. Rœntgen [1] lui-même, ont retrouvé ces apparences et ont refusé, avec raison, de s'en servir pour calculer les longueurs d'onde des rayons X.

A ce sujet, M. Wind [2], utilisant mes observations, a supposé qu'il s'agissait là d'un phénomène de *diffraction secondaire :* chaque bande infiniment étroite de la fente éclairante donne, avec un bord rectiligne, les franges de diffraction bien connues de Fresnel. Dans la pénombre du bord, ces franges données par les diverses bandes de la fente s'entremêlent et donnent un éclairement sans maximum ni minimum, sans franges de diffraction par conséquent; mais, à la limite de la pénombre et de la pleine lumière, l'éclairement moyen se trouve être supérieur à l'éclairement des régions avoisinantes, il y a un maximum d'éclairement, une frange de diffraction que M. Wind appelle secondaire, pour la distinguer de la frange ordinaire de Fresnel, dont elle est la transformation quand la fente éclairante, de fine qu'elle était d'abord, devient suffisamment large. Cette théorie se présentait si naturellement à l'esprit à la suite de mes observations, que c'était la première explication que je m'étais donnée du phénomène, où l'on pouvait trouver dès lors une démonstration de l'interférence des rayons X et, avec des précautions suffisantes, une valeur grossière de leur longueur d'onde principale. Mais le calcul numérique que j'avais fait m'avait montré que l'excès relatif d'intensité au maximum doit être absolument inappréciable à la photographie, presque toujours dans le cas de la lumière, et, *a fortiori*, dans le cas des rayons X (le phénomène tendant à devenir de plus en plus faible à mesure que les longueurs d'onde diminuent). Or, le phénomène est fort net avec les rayons X. J'ai donc abandonné cette explication si séduisante. Il est regrettable que M. Wind se soit borné à faire un calcul analytique sans rechercher la valeur numérique de l'excès relatif d'intensité à la place où se forme le maximum.

J'ai exposé devant la Société de Physique, avec les réserves qui conviennent, une explication qui se résume ainsi : l'impression photographique en un point ne dépend pas seulement de l'éclairement en ce point, mais peut dépendre aussi de l'éclairement aux points voisins; il peut y avoir en photographie des effets de contraste analogues à ceux qu'on obtient dans la vision; effectivement, les phénomènes dont il s'agit ici sont enregistrés aussi bien par la rétine que par la plaque photographique. Ces effets de contraste seraient sans doute liés à la transformation des rayons incidents en *rayons secondaires*, de plus grande longueur d'onde (loi de Stokes), *détruisant* comme d'habitude l'effet des premières radiations (Edmond Becquerel, Claudet). Cette action secondaire destructrice aurait lieu, à la limite de la pénombre et de la lumière, notablement moins qu'aux points voisins, et c'est ce qui produirait là un maximum de l'impression photographique ou rétinienne. Je pense que c'est une action secondaire et destructrice de même espèce qui interviendrait dans le phénomène si peu expliqué du *renversement* de l'image photographique.

En somme, l'explication précédente, fondée sur les *lois de la luminescence*, demeurera soutenable tant qu'on n'aura pas montré par un calcul numérique précis que le phénomène de diffraction secondaire est assez important pour être enregistré par la photographie, et contrôlé ce calcul par une expérience faite sur les radiations lumineuses avec un récepteur incapable d'altérer le phénomène,

[1] Rœntgen, Nouvelles observations sur les propriétés des rayons X, *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 157.

[2] C.-H. Wind, *Académie Royale des Sciences d'Amsterdam*, 7 juillet 1897.

la pile thermo-électrique, ou le bolomètre, par exemple [1],

Expériences de polarisation par absorption. — La comparaison des rayons X et des rayons lumineux conduisait naturellement à répéter avec ces rayons l'expérience des tourmalines parallèles ou croisées. Cette tentative était d'autant plus naturelle que l'absorption des rayons X par la plupart des corps se présentait dès le début comme un de leurs caractères positifs les plus généraux. M. Rœntgen s'était contenté de dire que la transparence d'une lame cristalline par rapport aux rayons X paraissait indépendante de l'orientation cristallographique de la lame. J'ai réalisé avec plusieurs substances cristallisées (quartz, spath d'Islande, tourmaline brune, mica, ferrocyanure de potassium, épidote) l'expérience qui consiste à comparer photographiquement sur une même plaque les transparences de deux systèmes de deux lames cristallines, superposées dans l'un des systèmes avec leurs sections principales parallèles, dans l'autre avec leurs sections principales croisées. Les épaisseurs atteignaient jusqu'à 2 mm pour chaque lame [2]. J'ai répété depuis les mêmes expériences avec des lames beaucoup plus épaisses, soit photographiquement, soit sur l'écran fluorescent en utilisant la grande puissance des tubes à rayons X actuels. En aucun cas, je n'ai observé de différence d'intensité des deux plages comparées.

J'ai montré la nécessité absolue de tourner de 90° sur place les deux lames supérieures ou les deux lames inférieures, de manière que les plages des sections principales parallèles et des sections croisées s'échangent mutuellement. Une petite différence d'intensité peut en effet exister *accidentellement* entre les deux plages, par suite d'un défaut de réglage du système, ou bien d'une différence d'épaisseur ou de nature des lames cristallines comparées. Dans ce cas, la différence observée se distingue d'une différence due au dichroïsme, par ce fait qu'elle persiste toujours sur le même système de lame, au lieu de passer d'un système à l'autre, quand on fait tourner de 90° les deux lames supérieures.

C'est faute de cette précaution que des observateurs tels que MM. B. Galitzine et A. de Karnojitzky [1] ont annoncé à tort la polarisation des rayons X. Le phénomène *accidentel* qu'ils ont observé avec la tourmaline est en effet fréquent avec cette substance dont il est difficile d'avoir des échantillons absolument comparables. Ces opérateurs n'ont fait que renforcer la différence d'intensité *accidentelle* en employant pour cela une méthode photographique d'ailleurs très ingénieuse.

Mes expériences se trouvent d'ailleurs confirmées par celles que plusieurs observateurs [2] ont effectuées à la même époque sur la tourmaline et plus tard sur un assez grand nombre de substances.

Essais de polarisation circulaire. — Il pouvait être utile [3] de rechercher si l'absorption des rayons X par le quartz taillé perpendiculairement à l'axe n'est pas accompagnée de dichroïsme circulaire ; autrement dit de voir si les vibrations circulaires droite et gauche dans lesquelles peut se décomposer la vibration transversale, supposée constituer l'énergie des rayons X, ne sont pas inégalement absorbées quand elles se propagent suivant l'axe d'un cristal de quartz. On sait comment M. A. Cotton a découvert le premier l'exis-

---

[1] Il est bien entendu que pour des longueurs d'onde suffisamment grandes et une fente éclairante pas trop large, une mesure *suffisamment précise* décélera certainement la diffraction secondaire ; mais la question est de savoir si l'effet est suffisamment grand pour être encore appréciable à la *photographie* dans le cas de longueurs d'onde certainement inférieures à 0,005 μ.

[2] G. Sagnac, *Comptes rendus*, 30 mars 1896, t. CXXII, p. 785.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 178.

[2] H. Becquerel, *Comptes rendus* du 30 mars 1896 ; J.-J. Thomson, *Nature* du 27 février.

[3] Voir W.-C. Rœntgen, *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 157.

tence du dichroïsme circulaire dans le cas de la lumière traversant des dissolutions de tartrates colorés [1]. Or le quartz absorbe les rayons X; d'autre part, on est tenté de supposer que le dichroïsme circulaire dépend de la double réfraction circulaire (pouvoir rotatoire), comme le dichroïsme rectiligne (de la tourmaline par exemple) dépend de la double réfraction rectiligne; or, dans le quartz, le pouvoir rotatoire croît précisément à mesure que la longueur d'onde diminue, et cela avec une rapidité considérable ; si la dispersion rotatoire ne devient pas très anomale [2], on conçoit donc que le dichroïsme circulaire puisse être très net pour les rayons ultra-violets de longueurs d'onde très petites.

La méthode employée ne saurait ici être la méthode si sensible qui a conduit M. A. Cotton à sa découverte, mais qui exige que l'on puisse déjà polariser et analyser les radiations employées.

J'ai simplement calqué l'expérience des tourmalines parallèles et croisées en forçant pour ainsi dire le phénomène à s'analyser lui-même : il suffit de couvrir une bilame de quartz à deux rotations (la bilame de Soleil par exemple) avec une autre lame de quartz perpendiculaire à l'axe et de comparer les intensités des deux plages correspondant aux deux moitiés de la bilame, soit sur la plaque photographique, soit sur l'écran fluorescent.

On voit aisément que les quartz superposés de même signe correspondent aux tourmalines parallèles, et les quartz de signes contraires, aux tourmalines croisées. La première plage devrait présenter une intensité supérieure à celle de la seconde.

Comme contrôle, on peut ici remplacer la lame de quartz supérieure par une seconde bilame dont la ligne de collage est croisée avec la précédente. On doit alors avoir quatre plages : les deux plages opposées en diagonale, correspondant aux quartz de mêmes signes doivent avoir une même intensité supérieure à celle des deux autres plages en diagonale qui correspondent aux quartz de signes, contraires. Enfin, pour éviter l'empiétement des rayons qui traversent les différentes plages, il convient, quand les quartz sont un peu épais et que le tube à rayons X n'est pas suffisamment éloigné, de séparer les quartz de chaque bilame par une petite cloison suffisamment opaque aux rayons X.

En aucun cas je n'ai réussi à apercevoir ainsi le phénomène du dichroïsme circulaire.

J'ai fait remarquer [1] que l'expérience des tourmalines croisées n'est pas une méthode bien sensible pour rechercher le dichroïsme. La même remarque est applicable à l'expérience précédente [2]. On ne saurait donc tirer de ces expériences négatives de dichroïsme un véritable argument en faveur de l'hypothèse d'un vecteur longitudinal lié aux rayons X. Elles établissent seulement une distinction particulière entre les rayons X et les rayons lumineux que nous connaissons, au point de vue de l'influence exercée par la structure cristalline de la matière.

Propagation rectiligne des rayons X sans réfraction à travers les milieux matériels. — Je rappellerai rapidement que M. Gouy a établi ce fait avec une très grande précision en formant l'ombre d'un fil de platine, comme il a été dit plus haut, et constatant que cette ombre n'est pas déviée quand on interpose un prisme d'aluminium sur le trajet des rayons [3]. De son côté M. F. Beaulard

(1) A. Cotton, *Thèse de Doctorat.*

(2) Plus rapidement que l'inverse $\frac{1}{\lambda^2}$ du carré de la longueur d'onde.

(1) G. Sagnac, *Comptes rendus* du 30 mars, t. CXXII, p. 785.

(2) Cette expérience réussirait certainement pour la lumière avec les tartrates colorés de M. A. Cotton ; en employant une bonne méthode photométrique on constaterait une légère différence d'intensité entre la lumière ayant traversé une épaisseur convenable e de dissolution droite, par exemple, et celle qui aurait traversé une épaisseur $\frac{e}{2}$ de dissolution droite et une épaisseur $\frac{e}{2}$ de dissolution gauche. L'expérience deviendra frappante le jour où l'on aura découvert un corps possédant à un degré suffisant le dichroïsme circulaire.

(3) Gouy, *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 567.

arrivait à la même conclusion par des expériences faites *dans le vide* sur le potassium (¹).

Un grand nombre d'opérateurs avaient cependant annoncé la réfraction des rayons X. M. Rœntgen lui-même avait signalé un indice 1,05 pour la paraffine. On doit à MM. Hurion et Izarn d'avoir montré clairement que ces fausses apparences de réfraction (²) tiennent à un défaut de parallélisme des deux fentes qui définissent le pinceau de rayons X, et qu'elles disparaissent quand on fait correctement ce réglage.

Rappelons ici les insuccès répétés au sujet de la réflexion régulière des rayons X.

De telles dérogations aux lois fondamentales de l'optique avaient paru singulières à M. Rœntgen, qui était porté à assimiler les rayons X à des vibrations longitudinales de l'éther (³). Nous ignorons aujourd'hui encore la véritable nature des rayons X, mais l'hypothèse de l'auteur de leur découverte est à coup sûr prématurée. Le fait que les rayons X ne peuvent avoir que des longueurs d'onde bien inférieures à 0,005 μ, c'est-à-dire à la centième partie de la longueur d'onde de la lumière verte, permet d'interpréter l'absence de réfraction aussi bien que l'absence de diffraction (⁴). Il semble même que le *cas limite* des rayons X ne puisse pas servir de criterium de la valeur d'une théorie optique ; en d'autres termes, l'absence de réfraction des rayons X peut être, dans plusieurs manières de voir, la conséquence nécessaire de leurs longueurs d'onde extrêmement petites.

(¹) F. Beaulard, *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 419.

(²) Hurion et Izarn, *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1195; 1895.

(³) W.-C. Rœntgen, *L'Éclairage Electrique*, t. VI, p. 241.

(⁴) Voir à ce sujet : Raveau, *L'Eclairage Electrique*, t. VI. p. 249.

Récemment, MM. Voller et Walter (*Wiedemann's Annalen*, t. LXI, p. 88-105, *L'Eclairage Electrique*, t. XII, p. 282) ont trouvé que l'indice de réfraction des rayons X dans le diamant (*très transparent* comme on sait aux rayons X) ne peut différer de l'unité que d'une quantité inférieure à 0,0002. On en tire par la formule de dispersion de Helmholtz que la longueur d'onde des rayons X est inférieure à $\frac{1}{600}$ de la longueur d'onde de la raie D, limite qui s'accorde bien avec celle que M. Gouy a trouvée dans ses expériences directes. Mais les expériences de M. Gouy sur la réfraction des rayons X sont encore plus précises ; elles établissent que pour plusieurs substances, l'indice diffère de l'unité de moins de $\frac{1}{1\,000\,000}$.

Quelques expériences considérées à tort comme montrant de nouvelles propriétés des rayons X. — Pendant que se poursuivait patiemment la comparaison de la propagation des rayons X et de celle de la lumière, un assez grand nombre d'observateurs croyaient avoir trouvé des phénomènes différenciant absolument les deux espèces de rayons. J'ai montré en détail (¹) comment il fallait interpréter les expériences du genre de celle que M. Mauritius (²) a effectuées et d'où leurs auteurs pensaient pouvoir conclure à l'existence d'une *nouvelle espèce de rayons* ou à la *déviation des rayons X au voisinage des conducteurs*. Ce sont là purement des phénomènes de pénombre exagérés encore par les propriétés de la plaque photographique.

C'est au diamètre apparent de la source de rayons X employée (³), qu'il faut attribuer les effets de *reploiement des rayons X derrière les corps opaques* annoncés par M. Villari (⁴) et par M. Abel Buguet (⁵).

On peut aussi avoir un reploiement apparent par suite de la diffusion des rayons X par l'air. Les expériences de M. Villari et de M. Abel Buguet ne pouvaient d'ailleurs établir cette dissémination, parce qu'elles auraient dû être faites en limitant le diamètre apparent de la source. Mes remarques ont été d'ailleurs reprises et étendues par M. Roiti (⁶).

Les phénomènes singuliers annoncés par

(¹) G. Sagnac, Les Rayons X et les illusions de pénombre, *Journal de Physique*, 3ᵉ série, t. VI, p. 169 ; *L'Eclairage Electrique*, t. IX, p. 408.

(²) Mauritius, *Wiedemann's Annalen*, t. LIX, p. 346, 1896; *L'Eclairage Electrique*, t. XI, p. 41.

(³) G. Sagnac, *loc. cit.*, p. 171.

(⁴) Villari, *L'Eclairage Electrique*, t. IX, p. 33.

(⁵) Abel Buguet, *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 689, 1896; *L'Eclairage Electrique*, t. IX, p. 325.

(⁶) A. Roiti, *Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei*, vol. VI, 1ᵉʳ sem., 5ᵉ série, fasc. 1, 3 janvier 1897. Voir à ce sujet G. Sagnac, *Journal de Physique*, *loc. cit.*, p. 171, note (²).

M. Lafay sous le nom de *déviation magnétique des rayons de Rœntgen électrisés* (¹) s'interprètent suffisamment bien, comme je l'ai montré (²), par la déviation que les rayons cathodiques et par suite la source des rayons X subissent sous l'influence de l'électrisation d'un conducteur ou de l'action d'un champ magnétique. Les expériences de M. Lafay ont d'ailleurs été contredites par celles de M. O. Lodge et de M. S.-P. Thompson. La déviation des rayons X par l'aimant a été annoncée de nouveau par M. de Metz; mais M. Stokes a montré que, là encore, il s'agissait d'une fausse apparence, ce qui a confirmé ma manière de voir.

Conclusions. — Aucun fait positif n'a pu être apporté à l'appui de l'hypothèse qui assimile les rayons X à des vibrations longitudinales de l'éther. En particulier on n'a jamais pu constater *dans le vide* une influence quelconque des rayons X sur la propagation de la lumière (¹). — D'autre part, la propagation rectiligne des rayons X à travers les corps n'est pas contradictoire avec l'hypothèse qui assimile les rayons X à des rayons ultra-violets extrêmes, et les expériences positives par lesquelles on aurait pu renverser cette hypothèse se trouvent réduites à néant à la suite d'un examen approfondi et soigné. Le seul fait positif qui se rattache à la propagation des rayons X est la facilité avec laquelle ces rayons sont *diffusés* par les corps solides, liquides ou gazeux.

Puisque l'extrême petitesse de leurs longueurs d'onde possibles nous empêche de réaliser avec les rayons X la plupart des expériences de l'optique, il est naturel d'étudier, pour aller plus loin, les phènomènes de diffusion qui dominent véritablement l'histoire de ces nouveaux rayons.

G. Sagnac.

(¹) A. Lafay, *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 133.

(²) G. Sagnac, *Journal de Physique*, *loc. cit.*, p. 171 et 172.

(¹) Stokes. *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 315.

INSTALLATION A COURANTS DIPHASÉS DU LABORATOIRE DE L'ÉCOLE SPÉCIALE DE MONS (²)

VI. Moteur bipolaire a courants diphasés, a induit en cage d'écureuil.

A. — Description. — L'ensemble du moteur est représenté par les figures 32 et 33.

L'inducteur est constitué par un cylindre *a*, creux, feuilleté, de 200 mm de longueur, 151 et 300 mm de diamètres intérieur et extérieur; il est percé de 24 ouvertures oblongues de 20 × 10 mm, situées à 1 mm de la paroi intérieure et contenant l'enroulement en tambour qui produit le champ magnétique; il est formé de tôles de fer doux de 0,5 mm d'épaisseur isolées au papier et consolidées par deux tôles extrêmes *c* de 2 mm d'épaisseur chacune; il est maintenu dans un tambour-enveloppe en fonte *d* entre un rebord *e* venu de fonte et une couronne *f* rapportée; l'ensemble, inducteur, rebord et couronne, est joint par six longs boulons *g* à quatre écrous dont les deux extrêmes fixent les couvercles ou flasques *h* au tambour-enveloppe *d*.

L'induit *b* est un cylindre feuilleté de 200 mm de longueur et 150 mm de diamètre; il est percé de 32 ouvertures de 8 mm situées à 1 mm de la périphérie, et calé sur un arbre en acier entre une embase fixe et une bague rapportée maintenue par une goupille.

Le tambour-enveloppe ou corps du moteur porte à sa partie supérieure une tablette en bois de chêne supportant les quatre bornes en bronze des deux circuits inducteurs et il est fixé sur un bâti ou sur des sabots spéciaux

(²) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 340, 21 août 1897, et t. XIII, p. 489, 11 décembre 1897.

au moyen de deux pattes en fonte à nervures, munies chacune de deux trous pour les boulons.

Les fonds h sont à encastrement dans le tambour ; ils sont maintenus par 6 boulons susmentionnés et ils forment les paliers de l'arbre de l'induit.

L'arbre de l'induit est en acier et sa position est limitée latéralement entre les coussinets par deux embases. Les coussinets sont en bronze et ils ont 25×70 mm pour dimensions intérieures.

Le graissage, proposé par le constructeur, se faisait, au commencement du fonctionnement de l'installation, par un appareil à graisse dessiné en *o* sur la figure 32. Nous avons été obligé depuis d'employer des graisseurs automatiques à huile et nous conseillons pour les moteurs de cette puissance, et surtout à grande vitesse, d'avoir toujours recours aux graisseurs à bague.

Les enroulements sont détaillés sur les figures 32, 33, 34 et 35.

L'induit possède 32 barres rondes de

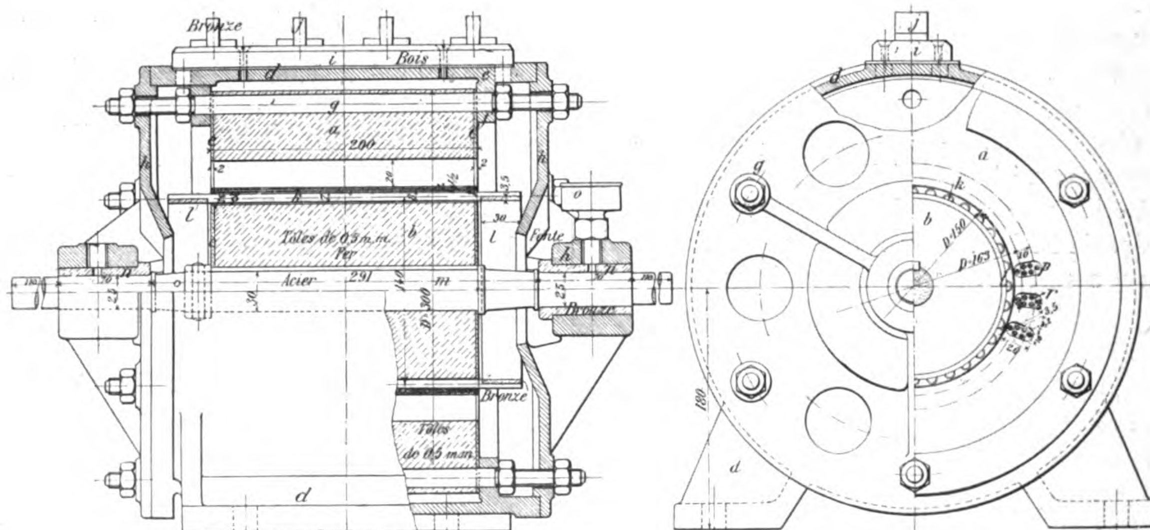


Fig. 32 et 33. — Coupes du moteur à courants diphasés.

7×205 mm réunies en quantité par deux couronnes de 140 mm de diamètre et $3,5 \times 30$ mm de section, le tout en bronze. La résistance d'un cadre (2 barres) induit serait, si le métal était du cuivre relativement pur : $1,81 \times 10^{-4}$ ohm ou $1,81 \times 10^{5}$ C. G. S.

La résistance moyenne mesurée d'une barre est en réalité de $5,2 \times 10^{-4}$ à 0^{oc}, de $6,7 \times 10^{-4}$ vers 75^{oc}.

Celles d'un cadre aux mêmes températures sont respectivement 10,4 et $13,4 \times 10^{-4}$ ohm. Le métal constituant les barres est donc un bronze assez résistant.

L'inducteur comprend deux circuits à angle droit. Ces circuits remplissent respectivement les ouvertures 1 à 6 et 1' à 6' ainsi que leurs opposées (fig. 34). Les connexions que relient les fils placés dans les encoches, et qui sont représentées schématiquement par des lignes horizontales pour la première bobine et verticales pour la seconde, sont ramenées en faisceaux sur les bases de l'inducteur, comme *m* et *n*.

Il y a 24 encoches et 6 fils par encoche, soit en tout 144 fils. *Chaque bobine* est donc *formée* de 72 fils ou *de* 36 *spires*. La résistance électrique des circuits inducteurs est de 0,063 et 0,058 ohm à 0^{oc}, soit en moyenne par circuit 0,06 ohm.

Les bornes de ces circuits sont à la partie supérieure de la machine : les deux premières servent pour le premier enroulement, les deux autres pour le second.

B. — Résultats des calculs et des expériences. — a). *Calcul de la réluctance du circuit magnétique, des forces magnéto-motrices effectives et de la perméabilité totale.* — Nous déterminerons d'abord la réluctance du cir-

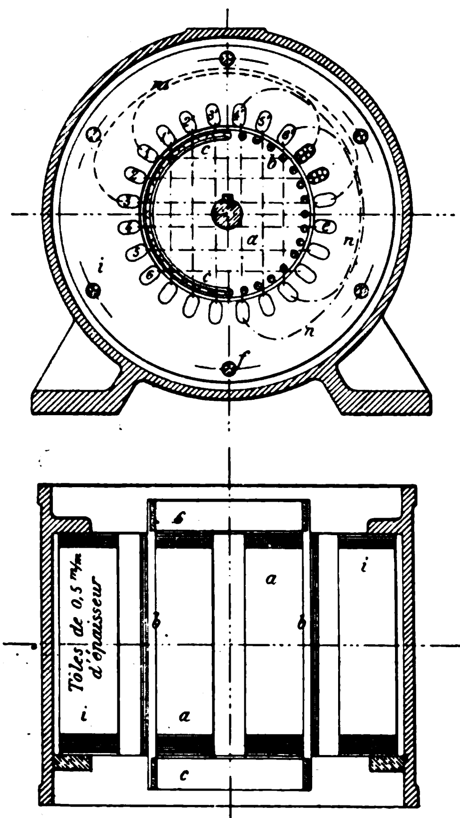


Fig. 34 et 35. — Coupes verticale et horizontale du moteur.

cuit magnétique pour des flux variés, à l'aide des éléments que l'on trouve dans les revues d'électricité et nous tracerons la courbe de ses variations, puis, en nous servant des résultats de levés des flux par la méthode balistique, nous calculerons la réluctance vraie et nous comparerons les courbes obtenues. Ces diagrammes nous permettront facilement le passage des courbes de réluctance aux courbes de perméabilité totale des parties métalliques.

Dans un circuit magnétique aussi concentré et à aussi faible entrefer que celui que nous étudions, les dérivations de perte à circuit ouvert sont faibles à l'extérieur de l'anneau inducteur et nous les négligerons.

Entrefer. — Les dimensions de l'induit sont indiquées sur la figure 36. L'entrefer est de 0,5 mm d'après le plan de construction. Nous avons voulu nous assurer si cette dimension, très importante, était observée, et nous avons procédé à une mensuration qui nous a permis d'établir que l'entrefer est variable

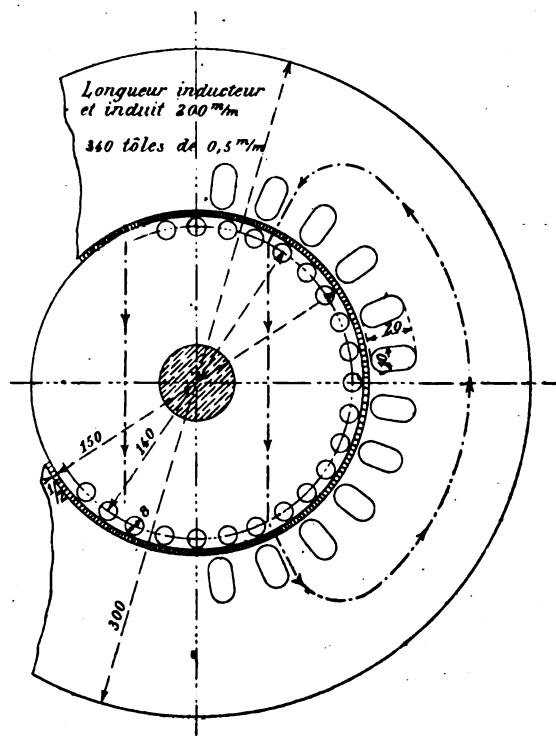


Fig. 36. — Détail de l'induit et de l'inducteur.

le long d'une génératrice, et qu'il est en moyenne de 0,53 mm. Si nous admettons que les lignes de force sont rayonnantes dans l'entrefer, ce qui doit être parce que ce dernier est très faible et que le circuit magnétique du flux tournant est symétrique par rapport à l'axe, la réluctance s'obtient très facilement par le quotient $\frac{2 l_e}{2 S_e}$. l_e est l'épaisseur de l'entrefer et S_e est sensiblement le quart de la surface cylindrique de l'induit.

Si la force magnéto-motrice effective pouvait être considérée comme étant constante en tous les points de la section du flux de force et exprimée sous la forme $4\pi ni$, le flux serait facile à calculer, et la réluctance de

l'entrefer à faire intervenir dans les formules serait bien $\frac{2 l_e}{2 S_e}$.

Or, la force magnéto-motrice est variable le long de l'entrefer, et on comprend que, si les deux circuits inducteurs sont excités, la composition des forces magnéto-motrices des spires successives donne une fonction sinusoïdale. Nous verrons plus loin que l'expérience nous a montré que le champ dans l'entrefer varie à peu près sinusoïdalement. Par conséquent, si nous connaissons la force magnéto-motrice disponible en chacun des points de l'entrefer, nous obtiendrons le flux par la relation :

$$\Phi = \int \frac{df}{dr},$$

f représentant la force magnéto-motrice et r la réluctance.

Nous préférons nous servir de la force magnéto-motrice maxima créée dans la masse de l'induit, considérée comme constante et exprimée sous la forme $4\pi ni$. Il est donc nécessaire de déterminer quel est l'entrefer qui, soumis à la force magnéto-motrice maximum, donnerait même flux que l'entrefer réel excité par une force magnéto-motrice sinusoïdale. Si la force magnéto-motrice en b suivant le diamètre bc (fig. 37), est $4\pi ki$, nous pouvons admettre qu'au point a, suivant la corde ad, (les spires inductrices étant régulièrement espacées), elle est :

$$4\pi ki \sin \alpha.$$

Si R est le rayon de l'induit, e l'épaisseur de l'entrefer et l la longueur de l'induit, la réluctance de l'entrefer au point a est exprimée par la relation :

$$dr = \frac{e}{l\mathrm{R} d\alpha},$$

et le flux par :

$$d\Phi = \frac{4\pi ki \sin \alpha}{\frac{e}{l\mathrm{R} d\alpha}} = \frac{4\pi kil\mathrm{R} \sin \alpha d\alpha}{e}.$$

Quant au flux total, pour un angle variant de 0 à 90°, il est :

$$\Phi = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{4\pi kil\mathrm{R}}{e} \sin \alpha d\alpha = 4\pi ki \frac{l\mathrm{R}}{e} = \frac{4\pi ki}{\frac{e}{l\mathrm{R}}}.$$

Ce résultat nous indique que *nous pouvons considérer un entrefer fictif dont la surface est* lR, *projection de la surface réelle* du quart de cylindre $l\frac{\pi \mathrm{R}}{2}$ sur un diamètre.

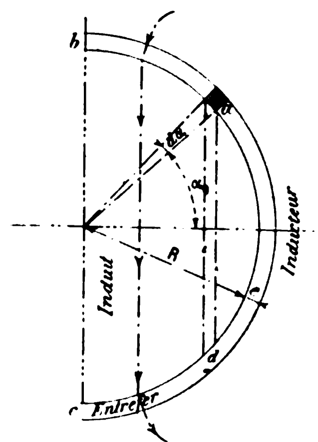


Fig. 37. — Établissement de la réluctance apparente de l'entrefer.

Pour tenir compte de la variation de la force magnéto-motrice dans l'entrefer, nous pouvons opérer autrement. Dans le cas de variation sinusoïdale, la force magnéto-motrice moyenne est :

$$4\pi ki \times \frac{2}{\pi}$$

et le flux

$$\Phi = \frac{4\pi ki \frac{2}{\pi}}{\frac{e}{\frac{\pi \mathrm{R}}{2} l}} = \frac{\frac{4\pi ki}{e}}{\frac{\pi \mathrm{R}}{2} l \times \frac{2}{\pi}} = \frac{\frac{4\pi ki}{e}}{l\mathrm{R}}.$$

On arrive au même résultat que ci-dessus.

Les calculs montrent donc qu'il faut réduire la surface réelle de l'entrefer dans le rapport de la force magnéto-motrice moyenne à la force magnéto-motrice maximum, ou encore du champ moyen dans l'entrefer au champ maximun.

Nous verrons par une vérification expéri-

mentale que, si le champ dans l'entrefer est sinusoïdal lorsque les deux circuits inducteurs induisent, il n'en est plus tout à fait ainsi lorsqu'un seul de ces circuits est parcouru par un courant : le rapport $\frac{2}{\pi}$ ou 0,637 devient alors 0,78. Nous adopterons dans nos calculs 0,71 comme rapport moyen. La réluctance totale de l'entrefer, pour l'induit entier, est ainsi :

$$r_e = \frac{2e}{\pi R l . 0{,}71} = \frac{0{,}053 \times 2}{3{,}14 \times 7{,}5 \times 20 \times 0{,}71} = 0{,}000317$$

Armature.— Nous considérerons d'abord la partie intérieure cylindrique, comprise entre les barres induites, et qui a 13,2 cm de diamètre. Sa longueur est constituée par 340 tôles de 0,5 mm ; elle est donc de 17 cm.

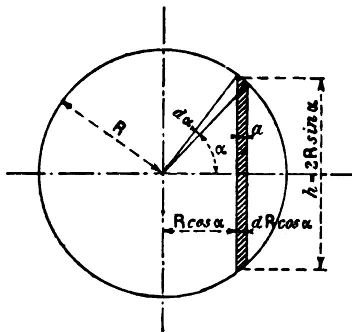


Fig. 38. — Établissement de la réluctance de l'armature.

Supposons que le flux est uniforme dans la masse et considérons (fig. 38) un élément d'épaisseur a, de hauteur h et de longueur $h = 2\,R \sin\alpha$, $a = dR \cos\alpha$, $l = 17$ cm.

La réluctance élémentaire dr'_a, est :

$$d.\,r'_a = \frac{2\,R \sin\alpha}{\mu'_a\, l\,(dR \cos\alpha)} = \frac{2\,R \sin\alpha}{\mu'_a\, l R \sin\alpha d\alpha}$$
$$= \frac{2}{\mu'_a\, l d\alpha},$$

et la réluctance totale :

$$r'_a = \int_0^{\pi} \frac{2}{\mu'_a\, l} \times \frac{1}{d\alpha} = \frac{2}{\mu'_a\, l \pi}.$$

En remplaçant les lettres par leurs valeurs, on trouve :

$$r'_a = \frac{2}{\mu'_a \times 17 \times 3{,}14} = \frac{0{,}0375}{\mu'_a}.$$

Considérons maintenant la partie suivante de l'anneau, constituée par les épaisseurs de fer comprises entre les barres induites. Ses diamètres sont 14,8 et 13,2 cm, sa longueur 17 cm. La distance entre deux barres est de $\frac{14 \times 3{,}14}{32} = 1{,}375$ cm et la largeur moyenne d'un trou pour barre d'armature

$$0{,}8 \times \frac{2}{\pi} = 0{,}51 \text{ cm},$$

ce qui réduit à $1{,}375 - 0{,}51 = 0{,}865$ cm l'épaisseur métallique entre les barres. Nous supposerons que l'induction spécifique y est variable et que la réluctance fictive peut être évaluée en comptant sur un développement égal à $\pi R \times 0{,}71$, comme pour l'entrefer. Ce développement correspond à 12 barres, c'est-à-dire à une épaisseur métallique de

$$12 \times 0{,}865 = 10{,}38 \text{ cm}.$$

La réluctance de cette partie de l'armature est donc

$$r''_a = \frac{1{,}6}{\mu''_a \times 17 \times 10{,}38} = \frac{0{,}0091}{\mu''_a}.$$

Il reste maintenant une épaisseur régulière de fer doux de 1 mm à la périphérie de l'armature, et dont le développement fictif est

$$3{,}14 \times \frac{14{,}9}{2} \times 0{,}71 = 16{,}55 \text{cm}.$$

La réluctance s'établit facilement :

$$r'''_a = \frac{0{,}2}{\mu'''_a \times 17 \times 16{,}55} = \frac{0{,}000\,713}{\mu'''_a}.$$

Anneau inducteur.— A la périphérie interne de cet anneau se trouve également une épaisseur régulière de fer doux de 1 mm, donnant pour réluctance :

$$r'_i = r'''_a = \frac{0{,}000\,713}{\mu'_i}.$$

Ensuite viennent les épaisseurs comprises entre les fils inducteurs. Ces épaisseurs sont au nombre de 9 en comptant toujours 0,71 comme rapport de la section fictive du flux à la section réelle. Elles ont une hauteur de

2 cm et une épaisseur moyenne de 1,3 cm. Mais cette épaisseur n'est pas toujours utilisée par le flux utile, car il se forme évidemment autour des alvéoles pour fils inducteurs des flux locaux qui ont une très forte densité sur une épaisseur de 1 mm, puisque sur cette épaisseur, le circuit local est entièrement fermé par du fer doux. Ces flux locaux existent pour 3 alvéoles sur 9 lorsqu'un seul des circuits induit, et pour 9, lorsque les deux circuits inducteurs sont parcourus par des courants. Le développement total métallique varie donc de

$$6 \times 1{,}3 + 3 \times 1{,}1 = 11{,}1 \text{ cm}$$

à

$$9 \times 1{,}1 = 9{,}9.$$

Nous en prendrons la moyenne, soit 10,5 cm. Nous trouvons ainsi pour réluctance :

$$r''_i = \frac{4}{\mu''_i \times 10{,}5 \times 17} = \frac{0{,}0225}{\mu''_i}.$$

Il reste maintenant à considérer la réluctance des deux circuits dérivés qui forment le retour des lignes de force au dehors des fils inducteurs. Leur longueur moyenne mesurée sur un tracé en grandeur naturelle est de 29,5 cm, leur épaisseur totale est de

$$5{,}2 \times 2 = 10{,}4 \text{ cm},$$

et leur largeur de 17 cm. Leur réluctance combinée est donc :

$$r'''_i = \frac{29{,}5}{\mu'''_i \times 10{,}4 \times 17} = \frac{0{,}167}{\mu'''_i}.$$

Calcul des réluctances pour des flux différents. — Les sections des différentes parties du circuit sont donc :

$$S_e = 329 \text{ cm}^2 ;\ S'_a = 2\,Rl = 13{,}2 \times 17 = 224 \text{ cm}^2 ;$$
$$S''_a = 176 \text{ cm}^2 ;\ S'''_a = 280 \text{ cm}^2 ;\ S'_i = 280 \text{ cm}^2 ;$$
$$S''_i = 177 \text{ cm}^2 ;\ S'''_i = 177 \text{ cm}^2.$$

En adoptant pour le fer les perméabilités fournies par une courbe moyenne tracée d'après les résultats des expériences de Hopkinson, de Rowland et de Bidwel, nous calculons le tableau suivant qui donne la réluctance correspondant à chaque flux supposé dans l'induit. Il donne aussi la force magnétomotrice $\Sigma \Phi r$ et la perméabilité totale ou plutôt un nombre proportionnel à cette perméabilité et obtenu en calculant l'inverse de la réluctance de la partie métallique du circuit magnétique. Les résultats sont traduits sur la figure 40.

TABLEAU I

$\Phi =$	0	$0{,}1 \times 10^6$	0,25	0,5	0,75	1×10^6	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2.75	$3{,}00 \times 10^6$
$H_e =$	0	303	760	1 517	2 280	3 035	3 800	4,560	5 320	6 070	6 830	7 600	8 350	9 110
$r_e =$	$3{,}17 \times 10^{-4}$	3,17	3,17	3,17	3,17	»	»	»	»	»	»	»	»	$3{,}17 \times 10^{-4}$
$\Sigma r =$	$7{,}931 \times 10^{-4}$	6,224	5,180	4,495	4,245	4,174	4,194	4,267	4,413	4,667	5,062	5,786	7,458	$13{,}246 \times 10^{-4}$
$\Sigma \Phi r =$	0	62,24	129,2	247	318	417,4	525	640	773	935	1 136	1 445	2 050	3 970
$\frac{1}{\Sigma r - r_e} =$	$2{,}1 \times 10^3$	3,28	4,98	7,56	9,91	10,0	9,78	9,12	8,05	6,68	5,29	3,83	2,32	1,0

b). *Détermination expérimentale du flux et de la perméabilité totale correspondant à des forces magnétomotrices données.* — Nous avons excité le champ par un seul des circuits inducteurs avec des courants variés et, par la méthode balistique, nous avons mesuré la variation de flux pour chaque courant en procédant par inversion du flux.

Evaluons d'abord la force magnéto-motrice due à un courant i circulant dans le fil inducteur.

Si n est le nombre de spires par cadre inducteur et i le courant, la force magnétomotrice serait $4\pi n i$ si toutes les spires étaient parallèles. Comme elles forment entre elles et avec l'axe OX (fig. 39) des angles variables, leur action suivant l'axe OY du flux est seulement $f' = f \cos \alpha$, et leur action

moyenne, en les supposant uniformément réparties à la périphérie, est :

$$\frac{1}{\frac{\pi}{2} \times \frac{39}{90}} f \int_{0}^{39^\circ} \cos \alpha \, d\alpha = f \frac{\sin 39^\circ}{\frac{\pi}{2} \times \frac{39}{90}}$$

$$= f \frac{0{,}629}{0{,}68} = 0{,}925 \, f.$$

La force magnétomotrice réelle est donc

$$\mathfrak{F} = 0{,}925 \times 4 \pi n i ;$$

n étant égal à 36, la relation simplifiée devient :

$$\mathfrak{F} = 418 \, i.$$

Les valeurs de i ont été déterminées par un ampèremètre, et les flux correspondants ont été établis au moyen des élongations du galvanomètre balistique, étalonné pour la mesure

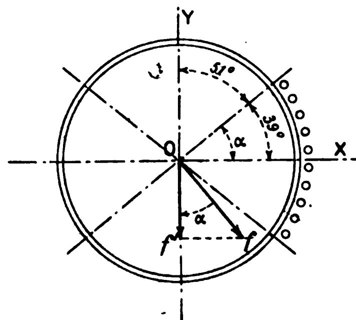


Fig. 39. — Composition des forces magnétomotrices.

des flux. Les résultats obtenus ont été consignés dans le tableau II.

TABLEAU II

i	$\mathfrak{F}$	Φ	$r = \frac{\mathfrak{F}}{\Phi}$	i	$\mathfrak{F}$	Φ	$r = \frac{\mathfrak{F}}{\Phi}$
Ampères.	C G. S.	»	$\times 10^{-4}$	»	»	»	»
2,6	108.5	140 500	7,72	30,7	1 280	2 220 000	$5{,}77 \times 10^{-4}$
3,9	163	261 000	6,26	35,6	1 490	2 345 000	6,36
5,2	217	410 000	5,3	40,6	1 700	2 450 000	6,93
7,4	308	637 500	4,84	54,0	2 260	2 660 000	8,5
10,2	419	1 015 000	4,13	64,75	2 700	2 815 000	9,6
15,8	661	1 590 000	4,165	70	2 920	2 875 000	10,18
24	1 003	1 957 000	5,2	80	3 340	3 005 000	11,15

Ces résultats et ceux des calculs précédents sont traduits graphiquement aux diagrammes de la figure 40. Les courbes pleines ont rapport aux données du calcul établi à l'aide des courbes de perméabilité précitées, et les courbes pointillées résument les données de nos expériences.

On voit que les courbes de réluctance coïncident vers les points de grande perméabilité et qu'elles diffèrent en deçà et au delà.

Les coubes de perméabilité correspondantes ont été calculées en partant des précédentes en faisant, pour chaque ordonnée comptée à partir de la réluctance de l'entrefer, le quotient de l'unité par cette ordonnée. Ce sont donc, plus exactement, des nombres proportionnels à ces perméabilités que l'on obtient ainsi. La courbe pleine a bien l'allure des courbes de perméabilité du fer doux déterminées par Hopkinson et Rowland, tandis que la courbe pointillée (expérimentale) a la forme de celles trouvées par Steinmetz.

Les différences entre les courbes obtenues ne sortent pas d'ailleurs des limites de celles qui existent entre les résultats des expériences des plus savants opérateurs, expériences de cabinet faites dans des conditions toutes particulières, bien plus favorables à l'exactitude que nos opérations de laboratoire des machines.

***

c). *Détermination expérimentale des pertes de flux à circuit induit ouvert, c'est-à-dire sans réaction magnétique d'induit. Considération sur la dispersion du flux.* — Pour différentes excitations, nous avons déterminé le flux total produit sur la hauteur h' de l'induit et de l'inducteur et le flux qui passe dans l'induit, sur la hauteur h (fig. 41). La diffé-

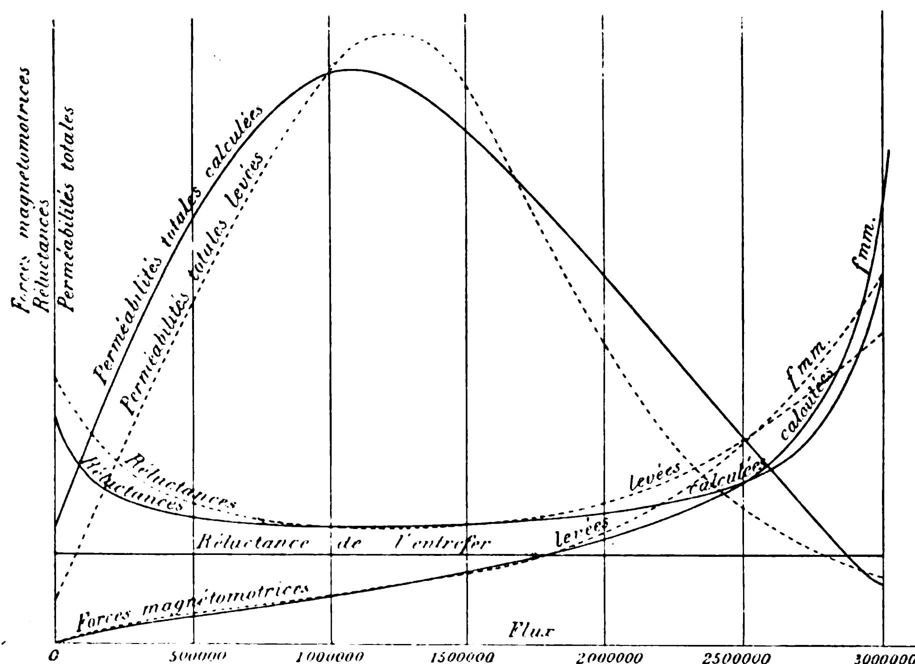


Fig. 40. — Courbes des réluctances des forces magnétomotrices et des perméabilités totales.

rence donne le flux qui passe à côté de l'induit, dans les dents en fer qui séparent les spires inductrices et dans l'entrefer. Les résultats sont indiqués ci-dessous.

Excitation en ampères . .	80 A.	70	64,75	54	40,6	24
Flux qui passe à côté de l'induit en pour cent du flux total produit	2,55 p. 100	2,6	2,65	2,9	3,15	3,9

Quant au flux qui passe dans l'épaisseur e, et qui devrait être le retour de la moitié du flux total, il est un peu inférieur à cette moitié. La différence donne la dérivation par l'air environnant.

Cette dérivation est donnée ci-dessous en pour cent du flux total développé.

Excitation	54 A.	40,6 A.	24 A.
Dérivation de flux.	2,45 p. 100	2,43 p. 100	1,28 p. 100

Comme on le voit, à circuit induit ouvert, les dérivations de flux sont insignifiantes.

Remarque. — Dans sa remarquable étude de quelques propriétés générales des champs

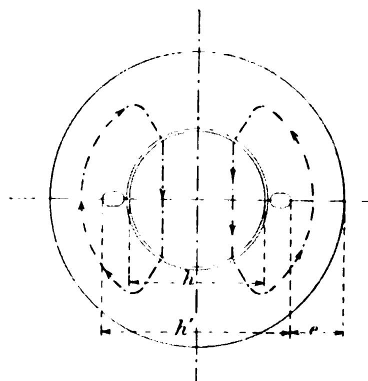


Fig. 41. — Trajectoire du flux.

magnétiques tournants, publiée dans *L'Éclairage Électrique* du 24 août 1895 (tome IV, page 358), M. Blondel m'a fait le plaisir de

signaler le travail détaillé que j'avais écrit un peu avant (tome IV, pages 5, 59, 114, 159) sur le moteur biphasé que j'examine brièvement, mais à un point de vue plus complet en ce moment. M. Blondel a fait observer alors que j'avais déterminé les flux *statiques* et non pas les flux *dynamiques*. Nous ne sommes pas tout à fait d'accord sur ce point.

J'ai en effet calculé les flux en tenant compte des forces contre-magnétomotrices de l'enroulement d'induit et la seule erreur qui peut résulter de cette manière d'opérer réside, quant aux flux, dans les changements de perméabilité que peuvent amener les petits flux locaux dus aux deux enroulements ou, en d'autres termes, que peut produire le retour du flux qui passe entre les deux enroulements. Or, si ce retour diminue la perméabilité dans l'induit et l'inducteur, les dérivations de flux dans l'air environnant et dans l'enveloppe en fonte, qui sont positives, l'augmentent. Nous croyons que, dans beaucoup de cas où les masses magnétiques sont circulaires, l'erreur commise est peu importante.

Il est bien vrai que dans l'étude du champ magnétique du moteur nous avons déterminé seulement les pertes de flux entre les deux enroulements à circuit induit ouvert, mais ces pertes nous intéressent peu pour le calcul du flux utile, si nous supposons qu'elles ne changent guère la perméabilité du métal le long du circuit de ce flux et si nous ne tenons pas compte de leurs circuits magnétiques spéciaux dans l'évaluation des réluctances opposées au flux utile.

Les flux locaux de dispersion amenant à tenir compte de forces électromotrices auxiliaires, nous allons, sans changer nos anciens calculs du moteur dans lesquels nous avions négligé la dispersion des lignes de force, les déterminer plus ou moins approximativement à l'aide des données que nous possédons. Ils constitueront au besoin un renseignement en plus sur la machine.

Pour une excitation de 80 ampères et une force magnétomotrice effective à l'induit ($\Sigma\Phi r$ pour l'entrefer et l'armature) calculée de 1210 unités C. G. S., nous avons trouvé 2,55 p. 100 de flux locaux, soit 76 600 sur 3 005 000 lignes de force. En marche normale, et pour une puissance utile de 5 chevaux sur l'arbre, les forces magnétomotrices des enroulements inducteur et induit sont respectivement (voir travail antérieur cité plus haut)

$$412,6\,\mathfrak{F} = 412,6 \times 4,45 = 1836$$

et

$$4\pi \frac{m}{2} I = 12,56 \times 8 \times 17,6 = 1760.$$

Ces deux forces magnétomotrices font un angle de 163° dans l'armature même et de 180 — 163 = 17° entre les deux enroulements, où leur composition géométrique donne 3 560 C. G. S. En adoptant même perméabilité que lorsque la force magnétomotrice est 1 210, ce qui est faux, mais ce que nous devons admettre comme approximation, nous trouvons pour flux locaux forcés en marche normale,

$$\varphi = \frac{76\,600 \times 3\,560}{1210} = 225\,200 \text{ unités C. G. S.}$$

En levant les courbes de force électromotrice au démarrage dont il sera question plus loin, nous avons mesuré, pour une fréquence 42 et un courant efficace inducteur de 51 ampères (51 × 1,41 = 72 maximum) 24 volts efficaces (33,8 volts maximum) aux bornes. La même méthode de calcul que ci-dessus fournirait pour flux locaux, le courant inducteur 4,45 C. G. S. devenant 7,2 et les forces magnétomotrices inductrices et induites étant sensiblement égales et de même sens :

$$\varphi' = 225\,200 \times \frac{7,2}{4,45} = 364\,400.$$

Nous pouvons établir les flux locaux de démarrage d'une façon plus exacte et plus expérimentale en nous servant des flux de self-induction de dispersion appliqués par Kapp aux transformateurs en court-circuit. L'hypothèse de Kapp conduit à considérer la force

électromotrice maximum de 33,8 volts, appliquée au moteur au démarrage, comme la résultante de deux forces électromotrices à angle droit, l'une effective égale à

$$RJ + n_1 RI = 19{,}6 \text{ volts},$$

l'autre d'induction de dispersion et égale à

$$e = \omega n_1 (\varphi_1 + \varphi_2) = \omega n_1 \varphi''.$$

$$e = 27{,}5 \text{ volts maxima}, \ \omega = 2\pi \times 42 = 263{,}8$$

$$n_1 = 36 \text{ spires}$$

$$\varphi'' = \frac{27{,}5 \times 10^8}{263{,}8 \times 36} = 290\,000.$$

La différence de 24 p. 100 entre φ'' et φ' provient de la diminution de la perméabilité avec l'augmentation des flux *locaux comme il l'a été dit plus haut*. On peut, par comparaison, réduire le flux $\varphi = 225\,200$ à 180 000 pour le même motif et on voit ainsi que les flux locaux constituent les 13,3 p. 100 du flux utile 1 350 000 C. G. S. On pourrait aussi à l'aide de ces chiffres déterminer des coefficients de self-induction ou des flux de dispersion inducteur et induit à faire intervenir dans les calculs du moteur. Enfin, une étude attentive des circuits magnétiques permettrait une prédétermination approximative de ces coefficients ou de ces flux avant toute mesure directe.

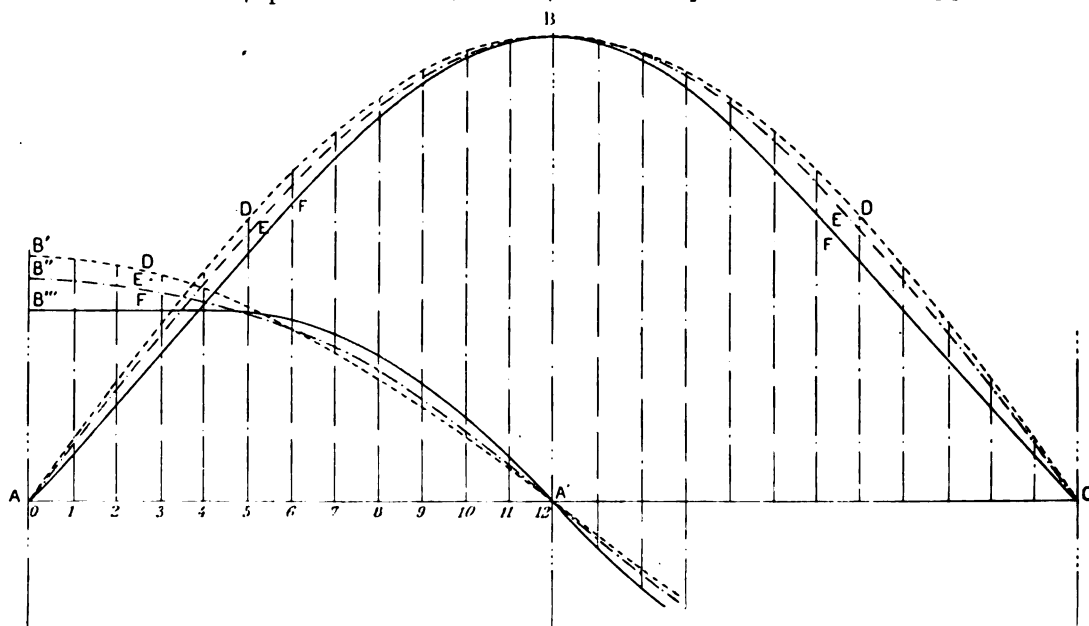


Fig. 42. — Champ magnétique dans l'entrefer. Courbe de force électromotrice dans l'induit.

La méthode de Kapp permet de calculer le flux utile qui traverse l'induit lorsque les flux locaux entre les enroulements sont de 290 000 C. G. S., c'est-à-dire au démarrage sous 51 ampères efficaces. On trouve

$$\varphi_u = 212\,000.$$

d). *Champ magnétique dans l'entrefer.* — Quand on excite le champ par un courant circulant dans un des circuits du moteur, le circuit 1, 2, 3, 4, 5 et 6 par exemple, qu'on entoure l'armature d'une spire de fil fin relié à un galvanomètre balistique, qu'on fait tourner l'induit d'angles égaux en renversant chaque fois le courant inducteur, on obtient au galvanomètre des élongations qui, portées en ordonnées sur l'axe AC de la figure 42, donnent la courbe AFBFC.

Cette courbe s'approche de la sinusoïde ADBDC. La courbe des flux dans la spire se rapproche encore plus de la sinusoïde et devient AEBEC si, considérant que les forces magnétomotrices se composent comme les fonctions sinusoïdales, on envoie dans les deux circuits des courants égaux à 0,707 du

courant primitif, la force magnétomotrice résultante étant alors proportionnelle à :

$$\sqrt{(0,707)^2 + (0,707)^2} = \sqrt{1} = 1.$$

Les courbes des variations de flux dans la spire seront évidemment les dérivées des courbes précédentes ; elles seront de même allure que celles des forces électromotrices induites et elles donneront les valeurs du champ dans l'entrefer. En déterminant, par le tracé des courbes intégrales, les dérivées des courbes des flux, on obtient :

1° La sinusoïde B'DA' correspondant à ADBDC ;

2° La courbe B''EA' pour le cas où le champ est produit par les deux circuits ;

3° La courbe B'''FA' dans le cas où le champ est obtenu avec un seul circuit inducteur.

Si on porte les ordonnées de ces courbes à la périphérie de l'induit (fig. 43) on obtient

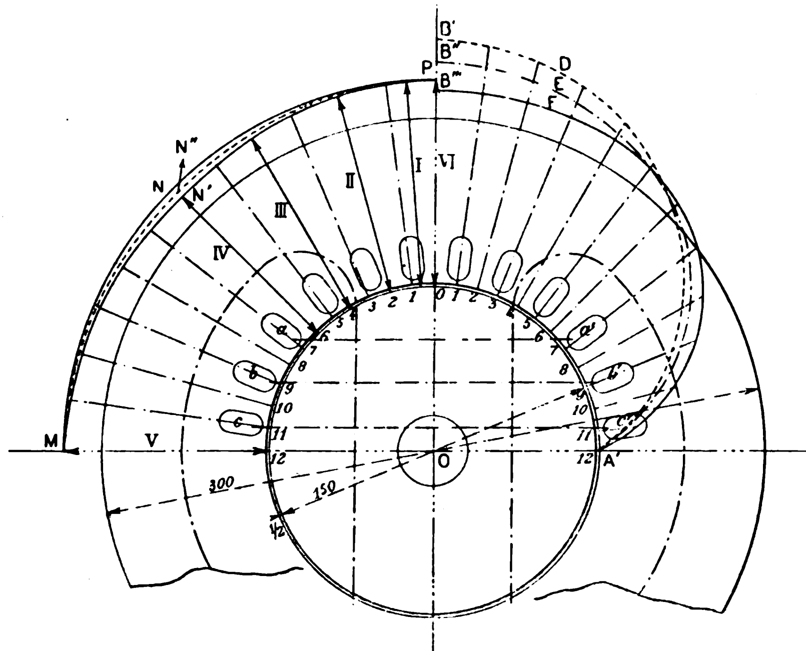


Fig. 43. — Valeur du flux de force tournant. Ses variations. Courbe des forces électromotrices dans l'induit.

les courbes portant les mêmes lettres que ces dernières. La courbe en trait plein B'''FA' montre que, dans le cas de l'excitation par un seul circuit, le champ dans l'entrefer est sensiblement constant en dehors des spires inductrices *aa'*, *bb' cc'*...., c'est-à-dire jusqu'à la division 5, et qu'il décroît moins que sinusoïdalement vis-à-vis de ces spires. L'allure plus sinusoïdale de la courbe B''EA' tient évidemment à la distribution plus uniforme de la force magnétomotrice inductrice à la périphérie de l'armature, distribution qui ramène à un plan la région de maximum de champ.

e). *Valeur du flux de force tournant. Ses variations.* — Nous portons radialement en I, II, III, IV, V et VI (fig. 43, à gauche) quelques valeurs proportionnelles et déterminées expérimentalement, du champ ou plutôt du flux tournant. Les valeurs V et VI sont faciles à obtenir. Nous les avons observées au moyen de la spire indiquée ci-dessus, en excitant par l'un et par l'autre circuit du moteur, alternativement, et en renversant le sens du courant excitateur. Les élongations au balistique étaient les mêmes dans les deux cas.

Nous avons aussi opéré par simple interruption du courant excitateur, comme pour

les valeurs I, II, III et IV, mais en ayant soin d'établir et de rompre plusieurs fois le courant avant la mesure.

Cette façon d'opérer est nécessaire si on ne veut pas que la rémanence empêche la comparaison des résultats.

Considérant ensuite des angles α variés, en partant des axes, nous avons excité par les deux circuits en y envoyant, pour chaque valeur de α, des courants I sin α pour l'un des circuits, I cos α pour l'autre et nous avons opéré par interruption, en recherchant chaque fois la position de maximum de flux pour la spire.

Si le champ était constant, la courbe du flux, qui est bien celle du flux tournant sans réaction d'induit, puisque les forces magnétomotrices sont proportionnelles à sin α et à cos α, serait la circonférence MNP. Nous avons trouvé en réalité une courbe MN'P, un peu différente de la précédente.

Nous pouvons évaluer la différence maxima NN' en supposant qu'elle ne provienne pas un peu de ce que, pendant les dernières mesures (III et IV), les circuits s'échauffaient et les courants diminuaient.

I et VI. Excitation de 50,5 A.; flux, à raison de 2 138 000 p. 116,7 mm d'élongation : 1 360 000 C. G. S.
II. Excitation de 49 et 14 A.; flux, à raison de 2 138 000 p. 116,7 mm d'élongation : 1 344 000 C. G. S.
III. Excitation de 44 et 37 A.; flux à raison de 2 138 000 p. 116,7 mm d'élongation : 1 298 000 C. G. S.
IV. Excitation de 35,7 et 35,7 A.; flux, à raison de 2 138 000 p. 116,7 mm d'élongation : 1 260 000 C. G. S.

La plus forte diminution de flux, en IV, est de 100 000 unités sur 1 360 600, soit 7,3 p. 100.

En procédant par inversion nous avions trouvé pour les valeurs VI et IV, lors du levé des courbes de la figure 42, 1 540 000 et 1 500 000 C. G. S. C'était une différence de 2,7 p. 100, indiquée en NN'', figure 43.

Ce nombre 2,7 p. 100, nous ne le garantissons pas parce que les points des courbes correspondantes n'ont pas été levés le même jour. Nous faisons aussi remarquer que les mesures obtenues par une simple interruption ou établissement du courant sont plus ou moins sujettes à de faibles erreurs par suite des effets du magnétisme rémanent.

Le point important était de vérifier si la composition des forces magnétomotrices pouvait s'effectuer sensiblement comme celle des forces. Nous venons de voir que cela peut se faire en pratique.

Au reste, la différence moyenne de $\frac{7,3 + 2,7}{2} = 5$ p. 100 peut s'expliquer en partie par les considérations suivantes. Pour trouver le point N' de la courbe du flux tournant, nous avons envoyé dans les deux circuits inducteurs des courants $i \sin 45° = i \frac{1}{\sqrt{2}}$. La force magnétomotrice résultante était ainsi ainsi

$$4\pi m \sqrt{2i^2\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2} = 4\pi mi,$$

et le flux IV devait être égal aux flux V et VI.

Mais nous avons trouvé ci-dessus (fig. 39), en intégrant les forces magnétomotrices pour l'angle d'un cadre, qu'avec un seul circuit inducteur produisant les flux V ou VI, la force magnétomotrice totale réelle est, pour un courant i :

$$\mathfrak{F} = 0,925 \times 4\pi mi,$$

Avec deux circuits inducteurs distribués régulièrement autour de l'induit, la force magnétomotriee moyenne par spire est, si f est la force magnétomotrice maxima :

$$\frac{1}{\frac{\pi}{2}} f \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \alpha d\alpha\, f = \frac{1}{\frac{\pi}{2}} = 0,637\, f.$$

Et la force magnétomotrice totale pour les deux circuits (2 m spires) où le courant $i' = 0,707\, i$ devient :

$$\mathfrak{F} = 4\pi mi' \times 2 \times 0,637 = 0,900 \times 4\pi mi.$$

Cette force magnétomotrice est donc plus faible que celle qui correspond à un seul circuit inducteur de :

$$\frac{0,925 - 0,900}{0,925} \times 100 = 2,71 \text{ p. } 100.$$

Ajoutons que, toutes les spires inductrices agissant, les flux locaux autour des alvéoles, dans la région de maximum de champ, réduisant la section utile, augmentent la réluctance du métal et diminuent encore le flux produit.

f). *Calcul du fonctionnement du moteur sous courant constant d'alimentation de 45 ampères maximum, 31,8 ampères efficaces.* — Les formules employées ainsi que la méthode détaillée de calcul ont été expliquées et appliquées dans le tome IV de *L'Éclairage Électrique*.

Nous en reprendrons succinctement les résultats principaux qui sont traduits graphiquement sur la figure 44 où les retards $(\Omega - \omega)$ de l'induit sur le flux inducteur sont portés en abscisses.

Disons un mot de chacune des séries de valeurs.

Courants. — Les courants inducteurs maxima sont constants et égaux à 45 ampères. Les courants induits sont variables et ils oscillent entre un maximum de 184,5 A au démarrage et une valeur nulle au synchronisme (20,7 ampères à vide).

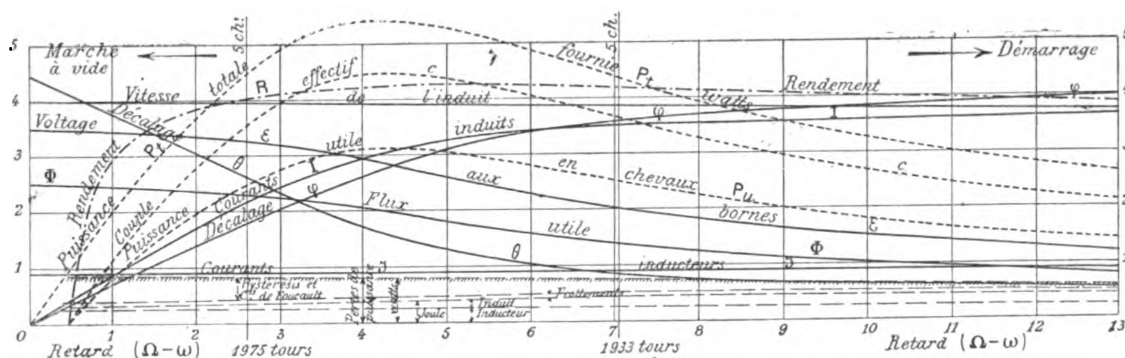


Fig. 44. — Alimentation du moteur sous courant constant de 45 ampères maximum.

Flux résultant. — Minimum au démarrage et égal à 47,150 C. G. S., il est maximum au synchronisme et vaut 2 500 000 environ.

Pour la puissance et le couple maximum il est de 2 000 000 avec une induction maxima de 11 300; pour cinq chevaux utiles, puissance normale, il est de 1 370 000 avec une induction maxima de 7 700, ce qui est un peu exagéré en pratique.

Forces électromotrices. — La force électromotrice appliquée au moteur varie sensiblement comme le flux résultant, et de 9,2 à 174 volts ($\mathcal{E}_{max}$).

Décalages des courants sur les forces électromotrices. — On voit que les décalages θ et φ varient en sens inverse.

Alors que le décalage du courant inducteur est nul au démarrage, le décalage du courant induit est presque de 90°, ce qui donne au flux résultant un retard de près de 90° sur le flux inducteur fictif.

Au synchronisme, c'est l'inverse qui a lieu : la self-induction de l'induit est sensiblement nulle et φ est également faible tandis que θ est maximum.

Puissances et couples. — Le couple et la puissance passent par un maximum qui se produit pour la même vitesse de l'induit.

La puissance utile maximum est de 6,25 chevaux ou de 4 600 watts.

Rendement. — Quant au rendement, il a aussi un maximum correspondant à peu près aux conditions de puissance et de couple maxima.

g). *Calcul du fonctionnement du moteur sous potentiel constant d'alimentation de 92 volts maxima, 62 volts efficaces.* — Nous avons tracé sur la figure 45 les courbes des nombres obtenus au moyen des calculs.

Disons un mot de ces courbes en faisant remarquer que la ligne mixte du flux Φ représente une correction faite en ayant égard à la perte ohmique RI dans le fil inducteur.

Courants. — Pour des retards relativement faibles de l'induit, les courants atteignent vite des valeurs insupportables. Pour 1875 tours à l'induit (Ω — ω = 12,9) correspondant à 7,28 chevaux utiles, les courants inducteurs et induits maxima sont respectivement de 76 et 306 ampères. Au synchronisme (fréquence 33,3) le moteur ferait 2 000 tours par minute.

Flux. — Le flux diminue assez lentement avec le retard Ω — ω.

Décalages des courants. — Ils varient sensiblement comme dans le cas de l'alimentation du moteur sous courant constant.

Puissances et couples. — Ces valeurs augmentent vite comme celles des courants et

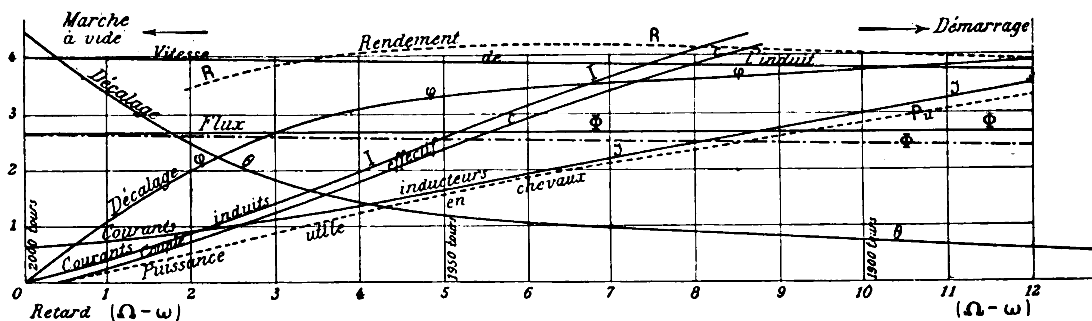


Fig. 45. — Alimentation sous potentiel constant.

elles n'ont pas de maximum, comme dans le cas d'alimentation sous courant invariable.

Rendement. — Le rendement passe par un maximum.

Ce maximum correspond avec celui du régime précédemment examiné.

h). *Calcul du fonctionnement du moteur alimenté à courant et voltage variables. La caractéristique de la génératrice est donnée.* — Comme nous nous sommes servi, pour les vérifications expérimentales, de la génératrice bipolaire à courants diphasés déjà décrite, nous partirons de la connaissance de la caractéristique externe de cette dynamo, en supposant que cette dernière est reliée bornes à bornes au moteur. Mais remarquons que la caractéristique calculée ou levée avec une résistance extérieure sans self-induction ne peut pas servir entièrement.

En effet, si vers les régimes de démarrage les courants inducteurs du moteur sont à peu près en concordance de phase avec les forces électromotrices, il n'en est pas de même pour les autres régimes.

Pour ces derniers, les courants sont décalés d'angles θ qui font varier la réaction d'induit de la génératrice (ce sont les angles θ déterminés dans les calculs précédents du moteur). Ces variations de la réaction d'induit ne dépendent évidemment aucunement de la génératrice, mais bien de la self-induction du circuit extérieur.

Nous pouvons montrer très facilement que cette variation existe et nous pourrions la calculer.

Soient dans la figure 46 : $\mathcal{F}$ la force magnétomotrice établie par les inducteurs aux pièces polaires de la génératrice; f la force magnétomotrice due au courant induit et F la force

magnétomotrice effective, résultante, qui produit le flux dans l'induit et dans l'entrefer.

$$F = \Phi_u (r_a + r_e).$$

Et soit α l'angle de calage lorsque la résistance extérieure n'a pas de self-induction.

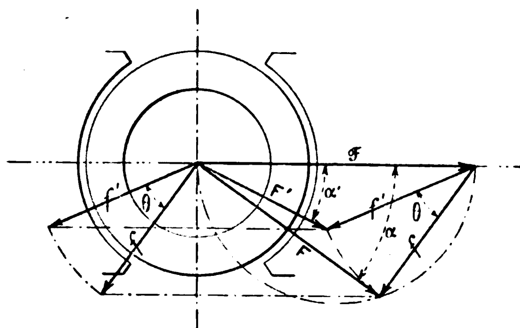


Fig. 46. — Composition des forces magnétomotrices dans l'induit de la génératrice.

Admettons maintenant que l'on place une self-induction dans le circuit extérieur de la dynamo, le moteur électrique diphasé, par exemple, et que l'on fasse varier la résistance jusqu'à débiter le même courant que celui qui donnait le décalage α sans self-induction, le décalage (retard) de ce courant sur la force électromotrice aux bornes étant θ. Il est évident, dans ces conditions, que la force magnétomotrice due au courant d'induit n'a pas changé en valeur absolue et qu'elle est simplement retardée de l'angle θ par rapport à F (voir fig. 45). f vient en f' dans le tracé des forces magnétomotrices et la nouvelle résultante, qui produit le flux Φ_u de l'induit, est maintenant F' plus petite que F, mais avancée sur celle-ci de l'angle $\alpha - \alpha'$. L'effet de la self-induction extérieure est d'abaisser le flux, donc la force électromotrice totale produite à la dynamo, pour un même courant débité, et de détordre le flux inducteur.

La figure 47 montre cet effet de la self-induction extérieure sur la caractéristique de la génératrice dont nous nous sommes servi pour les vérifications expérimentales.

La courbe pleine montre la caractéristique levée lorsque la résistance externe n'est pas inductive, et la courbe en trait mixte indique les chutes de potentiel dues au moteur lorsqu'il est en circuit, relié bornes à bornes avec la génératrice.

Vers les grands débits, qui correspondent à de grands retards de l'induit du moteur sur

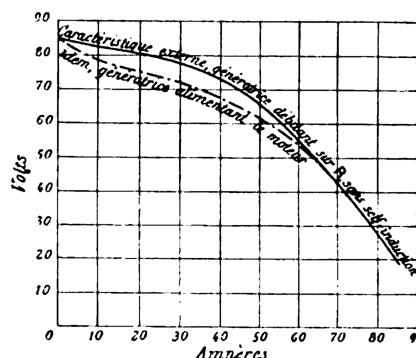


Fig. 47. — Caractéristiques de la génératrice d'alimentation.

le flux tournant, les deux caractéristiques se confondent parce que les retards θ sont nuls ou très faibles.

Cela admis, nous nous sommes servi de la caractéristique pointillée, que nous supposerons prédéterminée, pour calculer les conditions de fonctionnement du moteur alimenté sous courant et voltage variables. Les vérifications expérimentales étaient ainsi aisées.

Voici les résultats du calcul que nous avons traduits à la figure 48 :

Les courbes obtenues tiennent de celles des figures 43 et 44 provenant des régimes à courant et à potentiel constants.

Les courants vont croissant jusqu'au démarrage. Pour 5 chevaux, puissance normale du moteur, ils sont de 44,5 et 176 ampères maximum, 31,5 et 124,5 ampères efficaces.

Les forces électromotrices et les flux décroissent régulièrement. Pour 5 chevaux,

$$\mathcal{E}_{max} = 100, \mathcal{E}_{eff.} = 70{,}7 \text{ volts}, \Phi = 1\,350\,000.$$

Les *puissances et les couples* ont un maximum vers 1 800 tours à l'induit, et le point correspondant à 5 chevaux est en avant de ce maximum.

Le couple, à 5 chevaux, est de

$$10,25 \times 10^7 \text{ C. G. S. ou } \frac{18,25}{9,81} = 1,865 \text{ m. kgr.}$$

Les *rendements* passent aussi par une valeur maximum qui se produit vers la puissance normale.

Pour cette dernière, le rendement est voisin de 84 p. 100.

Les *pertes de puissance* par effet Joule sont remarquables. Elles croissent très vite avec le retard de l'induit.

i). *Vérification expérimentale. Alimentation sous courant constant de* 62,3 A. *maxima*, 44 A. *efficaces*. Pour faire cette première vérification, nous avons excité la génératrice avec des courants variés pour arriver à marcher à courant constant.

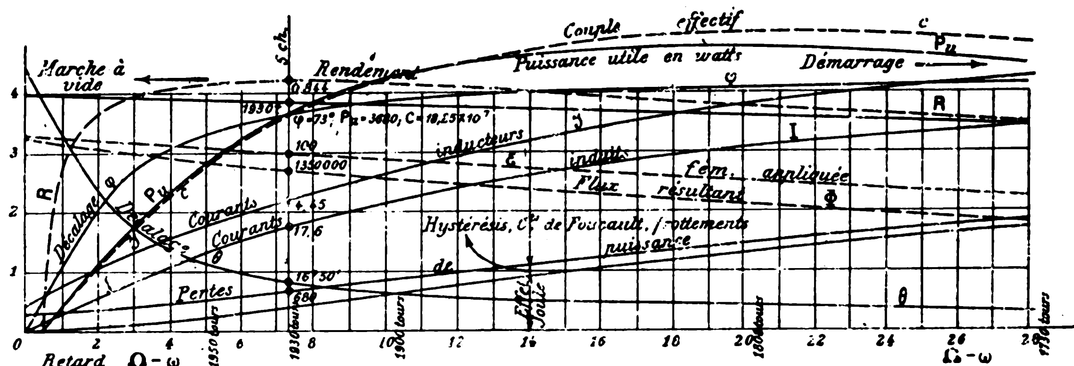


Fig. 48. — Alimentation sous courant et voltage variables; résultats des calculs.

Le moteur était chargé au moyen d'un frein de Prony.

Les résultats du levé sont consignés dans le tableau III ci-contre et traduits par la figure 49.

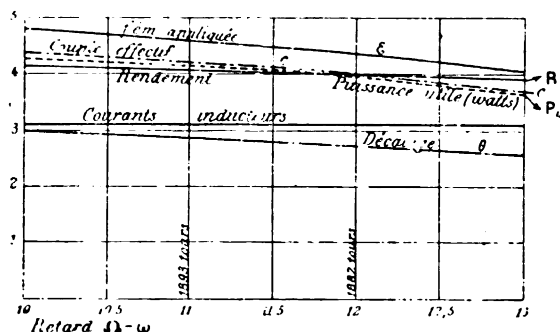


Fig. 49. — Alimentation sous courant de 62,2 ampères.

Les couples relevés expérimentalement sont de 9,5 à 11 p. 100 plus faibles que les couples calculés pour des régimes de courant et voltage semblables, mais non de même puissance. Cette différence s'explique par le décalage apparent θ des courants inducteurs qui est plus fort que ce que les calculs indiquent et aussi par les courbes de force électromotrice qu'on trouvera plus loin. Aussi les puissances dépensées sont-elles également de 10 à 11 p. 100 plus faibles à l'expérience.

Bref, à égalité de puissances dépensées, on obtient des puissances et des couples utiles parfaitement concordants avec les nombres du tableau calculé (t. IV).

Les rendements sont d'ailleurs absolument semblables.

Les vitesses concordent bien.

Les différences qui existent entre les décalages calculés et levés s'expliquent par ce fait que les forces électromotrices et les courants d'alimentation sont loin d'être exactement sinusoïdaux, surtout pour les grands débits, et que la loi des cosinus pour la détermination de la puissance n'est pas applicable dans ce cas.

La déformation de la sinusoïde théorique est due ici à la forme de l'entrefer de la génératrice et à la réaction d'induit.

j). *Vérification expérimentale. Alimenta-*

TABLEAU III

COURANTS inducteurs.		VOLTAGE appliqué aux bornes.		PUISSANCE totale fournie en watts. — Indiquée par 2 wattmètres.	DÉCALAGE des courants inducteurs.		CHARGE du frein.	VITESSES				PUISSANCE utile.		RENDEMENT total.	COUPLE effectif.	COUPLE effectif pour $J_{eff.} = 44$	COUPLE calculé.	DIFFÉRENCE entre couples calculé et levé.
$J_{eff.}$	$J_{max.}$	$\mathcal{E}_{eff.}$	$\mathcal{E}_{max.}$		Cos θ apparent.	θ apparent.		TOURS par minute. Génératrice.	TOURS par minute. Moteur.	Au moteur pour 2 000 t. à la génératrice.	$\Omega - \omega$	Chev.	Watts.					
Ampères.		Volts.													$\times 10^7$	$\times 10^7$	$\times 10^7$	
44	62,3	58,5	82,7	4 600	0,898	26°	1 k. 870 à 1 m.	1 990	1 870	1 880	12,75	4,91	3 610	0,79	18,4	18,4	20,6	9,8 p. 100
45	»	63,5	90	5 020	0,884	27°52″	2 k. 12	1 980	—	1 890	11,64	5,55	4 070	0,81	20,85	20,35	22,5	9,55 —
44	62,3	68	96	5 150	0,866	30°	2 k. 22	1 965	—	1 906	10	5,82	4 230	0,83	21,8	21,8	24	10,7 —

TABLEAU IV

COURANTS inducteurs.		VOLTAGE aux bornes.		PUISSANCE totale fournie en watts.	DÉCALAGE des courants inducteurs		VITESSES				CHARGE du frein. — à 1 mètre.	PUISSANCE utile.		RENDEMENT total.	COUPLE effectif.	OBSERVATIONS
$J_{eff.}$	$J_{max.}$	$\mathcal{E}_{eff.}$	$\mathcal{E}_{max.}$		Cos θ apparent.	θ apparent.	TOURS par minute. Génératrice.	TOURS par minute. Moteur.	$\Omega - \omega$	ω		Watts.	Chev.			
															$\times 10^7$	
24,4	34,5 A	74 V	104,5	2 750	0,76	40°32′	2 000	1 960	4	205,1	1,115 kg	2 250	3,06	0,818	10,96	Les calculs sont exécutés à la règle.
26,2	37	73,6	103,8	3 030	0,79	37°48′	—	1 950	5	204,1	1,320 —	2 575	3,6	0,85	12,6	
30,5	43,2	72	101,6	3 650	0,832	33°42′	—	1 940	6	203,1	1,520 —	3 030	4,12	0,832	14,92	
34,2	48,3	71,4	99,5	4 070	0,85	31°47′	—	1 932	6,7	202,4	1,720 —	3 410	4,62	0,835	16,86	
39,2	55,6	68,5	96,7	4 620	0,86	30°41′	—	1 920	8	201.1	1,920 —	3 800	5,17	0,825	18,9	
44,3	62,6	65,5	92,5	5 100	0,885	27°45′	—	1 900	10,1	199	2,120 —	4 100	5,57	0,806	20,75	
47	66.4	64	90,5	5 350	0,89	27°7′	—	1 880	12	197,1	2,220 —	4 280	5,81	0,802	21,8	

tion sous courant et voltage variables. — La vérification expérimentale a été opérée en reliant simplement la génératrice et le moteur bornes à bornes. Le moteur était chargé au frein de Prony. Il y avait un ampèremètre, un voltmètre et un wattmètre à très faible self-induction dans chaque circuit d'alimentation. Un tachymètre taré se trouvait à chacune des machines.

Les lectures étaient assez difficiles parce que la force motrice dont nous nous servions se prêtait assez mal aux expériences. Malgré cet inconvénient, comme on le verra plus loin, les courbes obtenues sont suffisamment régulières.

Malheureusement, nous n'avons pu dépasser 5,8 chevaux utiles dans les conditions de notre montage.

Nous indiquons ci-dessus dans le tableau IV et la figure 50 les résultats de notre lever.

La comparaison des figures 48 et 50 conduit à constater que les résultats des expériences sont en général conformes à ceux du calcul. Les courbes traduisant les variations de valeur des différents éléments d'appréciation du fonctionnement du moteur sont absolument semblables dans les deux figures. Une différence essentielle, comme valeur absolue, subsiste toujours à propos du décalage des courants inducteurs.

Cette différence, comme nous l'avons déjà dit, est due à la forme des forces électromotrices et des courants qui ne sont pas sinusoïdaux et pour lesquels la loi du cosinus n'est pas applicable.

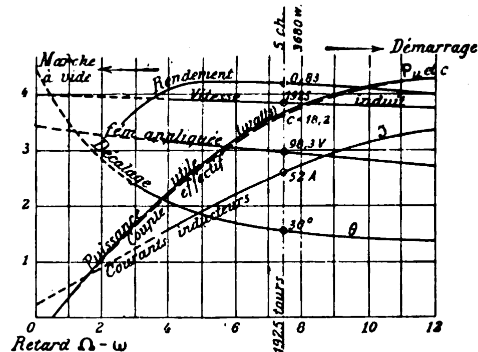


Fig. 50. — Alimentation sous courant et voltage variables. Résultat de l'expérience.

Le moteur ayant été étudié pour une puissance normale de 5 chevaux à 2 000 tours par minute, indiquons en regard, pour ce chiffre, les résultats du calcul et ceux de l'expérience.

Résultats	$\mathfrak{I}$ max.	$\mathcal{E}$ max	P_t.	Cos θ.	θ.	Vitesse.	P_u.	Rendement.	Couple.
du calcul :	44.5 A.	100 V.	4 360 w.	0,96	16°50′	1 930 t.	3 680 w.	0,84	$18,25 \times 10^7$
des expériences :	52	98,3	4 430	0,85	30°	1 925	3 680	0,83	18,2

On voit que la seule différence importante entre les deux séries de valeurs est celle du facteur de puissance cos θ que la forme des forces électromotrices et des courants fait baisser de 0,96 à 0,86, soit de 10,4 p. 100.

Quant aux nombres de tours, une erreur de lecture ou de calcul en expliquerait facilement la différence.

k). *Courbes des forces électromotrices et des courants du moteur marchant à vide.* — Ces courbes, dessinées sur la figure 51, ont été levées par la méthode de Joubert au moyen de plateaux montés sur l'arbre de la génératrice bipolaire. L'excitation de cette dernière était de 15 ampères, la tension aux bornes 89 à 92 volts, les courants inducteurs de 10 ampères environ et la fréquence de 39 à 40.

La courbe n° 1 donne la force électromotrice aux bornes des circuits inducteurs. On voit qu'elle est plus pointue que celle de la génératrice à circuit ouvert. Cette forme est due à la réaction d'induit du moteur qui rend la force électromotrice plus sinusoïdale.

La courbe n° 2 est relative au courant dont la force électromotrice effective RI est la résultante de plusieurs autres. Elle est dissymétrique parce que les réactions des induits, surtout de la génératrice bipolaire, déplacent le point de max de champ vis-à-vis des pôles.

La courbe n° 4, déduite des courbes (1) et (2), donne une idée approximative de la variation de la force électromotrice produite

par la génératrice sous l'influence de son champ, force électromotrice qu'aucun procédé direct ne peut mesurer.

Le tracé n° 3 montre la force électromotrice dans une spire fixe, additionnelle, de l'inducteur reliée directement au galvanomètre. Elle est à chaque instant proportionnelle à la variation du flux résultant dans la spire. Cette variation dans une spire fixe étant sensiblement sinusoïdale, on doit en conclure qu'*à vide le flux tournant est à peu près constant en intensité*.

Fig. 51. — Courbes des forces électromotrices et des courants du moteur marchant à vide.

I). *Courbes des forces électromotrices et des courants du moteur au démarrage, l'induit étant calé.* — Ces courbes, dessinées à la figure 52, ont été levées à la fréquence de 40 à 42, avec des courants inducteurs de 51 ampères efficaces et une tension aux bornes de 24 volts efficaces. Elles diffèrent essentiellement de celles de la marche à vide et du fonctionnement normal en charge.

Le *tracé n° 1* donne la forme de la *force électromotrice aux bornes des circuits inducteurs*. Remarquons de suite cette forme qui rappelle celle du flux provenant d'une force magnétomotrice sinusoïdale aux très basses inductions et qu'on peut tirer des courbes cycliques d'hystérésis. Toutes les courbes extraordinaires de la figure 52 ont d'ailleurs cette forme générale.

Les courants inducteurs sont donnés par *2 et 3*. Leur allure est assez régulière, la dissymétrie qu'ils présentent est insignifiante et leur pointe de maximum est bien marquée. Sans expliquer exactement la forme de ces courants, on peut observer qu'elle est bien celle qui, aux faibles inductions, produirait des flux de la forme bizarre constatée ci-dessus.

Fig. 52. — Courbes des forces électromotrices et des courants du moteur, l'induit étant calé.

En combinant les courbes 1 et 2, celle-ci réduite d'échelle pour donner les forces électromotrices effectives RI des circuits de la génératrice, nous obtenons *la courbe* 4 qui *montre la variation de la force électromotrice produite par le champ de la génératrice*. Elle accuse une déformation relativement forte du champ de cette dernière, déformation qui s'explique par les grands courants (51 ampères alors que le courant normal est 35 ampères) et leur fort retard de phase.

Quand on compose à angle droit les valeurs instantanées des courants inducteurs 2 et 3, on obtient des résultantes qui, portées en ordonnées à partir de l'axe horizontal 0—360°, produisent la courbe oscillatoire *n° 5*. On voit ainsi que *la force magnétomotrice résultante inductrice*, au lieu d'être sensiblement

constante, *oscille quatre fois par période* entre une valeur 2 et une valeur 3, approximativement.

Une spire de fil fin roulée autour de l'induit dans une rainure, à un millimètre de profondeur environ, est traversée sous l'influence du flux induit résultant, par une force électromotrice que nous indique la courbe n° 6 de la forme déjà constatée, en retard de 162° sur la force électromotrice inductrice. C'est évidemment aussi la courbe des courants induits, et celle du flux résultant serait en avance de 90° environ sur cette dernière, ou encore en retard de 72 à 80° sur la force électromotrice (n° 1) appliquée à l'inducteur. Que devient la force magnétomotrice des courants induits, résultant de la composition de 16 courants semblables décalés de $\frac{2\pi}{16}$ et dont les cadres font entre eux des angles aussi égaux à $\frac{2\pi}{16}$? Et comment varie la force magnétomotrice qui résulte de celle des courants induits et des courants inducteurs (courbe 5)? Il est permis d'assurer que ni l'une ni l'autre n'est uniforme. Il ne faut pas se figurer que la courbe de force électromotrice n° 6 est l'indice d'un flux résultant très irrégulier. Le flux dont la dérivée procure le tracé n° 6 est en effet encore assez régulier, mais il est dissymétrique. L'examen de la figure le prouve.

La courbe n° 7 est celle de la force électromotrice dans une spire qui suit celles des circuits inducteurs. Elle a évidemment même forme que la précédente et, si cette dernière était obtenue au moyen d'une spire placée dans les encoches de l'induit, l'espace hachuré entre les n°s 6 et 7 donnerait une idée exacte des flux locaux entre les deux enroulements. Nous avons trouvé plus haut au moins autant de flux locaux que de flux utile dans l'induit au démarrage. Nous aurions trouvé à peu près même résultat ici si nous avions pu embrasser les flux locaux d'induit en plaçant la spire (courbe 6) de l'induit dans les encoches. Il y a lieu croire en effet que la surface hachurée eût été doublée.

Les courbes de force électromotrice et de courants des paragraphes i et j sont très intéressantes. Nous ne les discuterons pas plus longuement parce que notre travail vise à être simplement une description documentée des machines du laboratoire de Mons. Peut-être aurons-nous l'occasion de revenir spécialement plus tard sur quelques-uns des résultats trouvés et d'expérimenter plus complètement.

(A suivre.)

S. Hanappe.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Commutateur A. Muller et H. Tudor pour la transformation des courants continus au moyen d'accumulateurs (1).

Pour la transformation d'un courant continu de basse tension en un courant de haute tension au moyen d'accumulateurs, il suffit, comme le faisait Planté, de réunir en tension une série d'éléments préalablement chargés en quantité. Cette disposition offre l'inconvénient d'exiger l'emploi de deux batteries dont l'une est en charge par le courant de basse tension pendant que l'autre se décharge en donnant un courant de haute tension.

On a cherché à éviter cet inconvénient par divers dispositifs, mais dans la plupart de ceux qui ont été proposés jusqu'ici, il y a interruption périodique du courant de décharge; c'est ce qui a été évité dans le dispositif récemment breveté par les auteurs.

La figure 1 représente le schéma des communications : deux conducteurs *a*, *a'* entre lesquels est disposée une batterie d'accumulateurs *b*, se rendent du générateur G aux balais de frottement C et C' d'un commuta-

(1) Brevet français, n° 269 230, 24 mai 1897.

teur U dont les bagues de frottement dd' sont maintenues en rotation uniforme au moyen d'un électromoteur M. Ces bagues sont munies intérieurement de balais e, e' qui frottent sur un commutateur K dont les segments de contact f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, séparés par des rainures

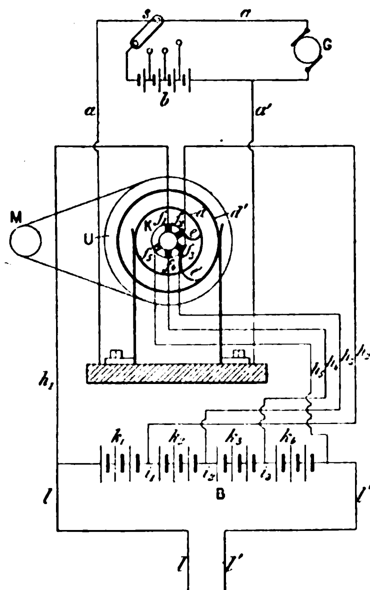


Fig. 1. — Commutateur Muller et Tudor.

isolantes assez larges, sont reliés par des conducteurs h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, avec une batterie d'accumulateurs B composée d'un nombre convenable de groupes k_1, k_2, k_3, k_4, de telle façon que deux des conducteurs h_1, h_5 soient adaptés aux deux extrémités, et les trois autres aux conducteurs de jonction i_1, i_2, i_3 des différents groupes de la batterie d'accumulateurs. Le courant de ces groupes, reliés en tension par i_1, i_2, i_3 est amené aux appareils d'utilisation par les conducteurs l, l'.

Dans la position des balais e, e' représentée par la figure, le courant engendré par le générateur G se rend, par le conducteur a, le balai C, la bague de frottement d et par le balai e, au segment de contact f_2 du commutateur; de là le courant passe par le conducteur h_2, le groupe k_2, qui est ainsi chargé, et le conducteur h_3, au segment de contact f_3 et il retourne au générateur G par le balai e', la bague d' et le conducteur a'. Dans cette phase la batterie d'accumulateurs b ne sert à rien, si toutefois sa charge est telle que la différence de potentiel entre ses bornes est égale à celle qui existe entre les bornes de la dynamo; en général, cependant, cette batterie donne un courant s'ajoutant à celui du générateur.

Les balais e, e' du commutateur K, en continuant leur mouvement de rotation, cessent d'être en contact avec les plaques f_2, f_3, de sorte que le groupe k_2 est mis hors courant. Le courant de charge du générateur G reste alors fermé par la batterie b qui se charge et dont la tension peut être réglée au moyen du commutateur réducteur s. Les balais viennent ensuite en contact avec les segments f_3 ou f_4, ce qui a pour résultat la fermeture du courant de charge par les conducteurs h_3, h_4 et par le groupe k_3. En continuant à se mouvoir, les balais ferment successivement le courant sur les groupes k_4 k_1, etc.

La transformation inverse d'un courant de haute tension en un courant de basse tension s'effectue, avec un appareil identique, d'une manière analogue.

Dans le but d'éviter les étincelles aux balais, sensibles avec les courants de haute tension, les inventeurs emploient un interrupteur tournant monté sur le même axe que le commutateur U et qui rompt ou ferme les circuits un peu avant ou un peu après qu'ils ne le soient par le commutateur; l'interrupteur étant plongé dans un liquide isolant, les étincelles ne peuvent se produire. J. R.

Régulation du champ inducteur dans les génératrices triphasées ;

Par M. H. Gibson [1]

L'auteur critique la régulation du courant inducteur dans les générateurs à courants triphasés installés récemment par la General Electric Company à Liverpool. Le rhéostat de réglage de ces machines est commandé par un petit moteur muni d'un embrayage à

[1] *The Electrical Review* du 3 décembre 1897.

friction agissant par l'intermédiaire d'un relais chaque fois que la tension tend à varier.

C'est ce procédé, assez compliqué, mais remplissant bien son but, que M. H. Gibson propose de remplacer par le suivant : un électro-aimant à courant alternatif est disposé verticalement, et son armature, en tôles feuilletées pour éviter les courants de Foucault, est placée au-dessous. Celle-ci peut pivoter autour d'un axe horizontal et est munie d'un dashpot quelconque.

L'électro-aimant est monté en série sur la ligne ou sur le générateur ; son armature porte sur son bras de levier une sorte de peigne en fer dont les dents ont des longueurs différentes et parfaitement déterminées. Ce peigne est fixé de façon à ce que par l'inclinasion imprimée à l'armature sous l'influence de l'attraction de l'électro, les dents viennent successivement s'enfoncer dans de petits godets de mercure placés au-dessous.

L'auteur pense éviter les effets bien connus des contacts à mercure en disposant l'ensemble du rhéostat de façon à ce que la diminution de résistance à chaque contact soit obtenue par l'adjonction de résistance en parallèle. Les étincelles peuvent bien être ainsi supprimées mais il reste toujours l'influence des poussières ; aussi le dispositif de M. H. Gibson a-t-il besoin d'être sanctionné par la pratique.

D'un autre côté, l'augmentation d'excitation à l'aide d'un appareil actionné par le courant lui-même n'est pas suffisante, car elle n'est pas la même suivant que l'augmentation de charge est inductive ou non inductive. L'appareil de M. Gibson ne peut donc être réglé que pour une série donnée d'augmentations de charge, ce qui n'est pas toujours suffisant en pratique.

Projet de chemins de fer électriques dans la banlieue de Philadelphie ;

Par Ch.-T. CHILD [1].

La mise en exploitation des lignes de Nantasket-Beach et de Hartford a fait naitre un grand nombre de projets relatifs à l'adoption de la traction électrique sur les voies ferrées. Parmi ceux-ci, nous signalerons celui que M. Child développe dans les colonnes de notre confrère newyorkais, *The Electrical World*. Il est bien conçu.

La traction électrique ne présente tous ses avantages économiques qu'autant qu'on se rapproche d'une exploitation semblable à celle des tramways, c'est-à-dire que le service exige des départs fréquents de trains d'un poids réduit et qu'une même usine génératrice peut alimenter plusieurs lignes différentes de faible longueur. Les frais de premier établissement et la main-d'œuvre sont alors, en effet, réduits au minimum et le coefficient de charge à la station centrale est maintenu à peu près constant.

Les lignes de banlieue des grandes villes sont donc tout indiquées pour ces premières applications ; tel est, en particulier, le réseau de la Pennsylvania Railroad Company, dans les environs de Philadelphie. Comme on peut s'en rendre compte sur la carte que nous reproduisons (fig. 1), cinq lignes principales ayant chacune plusieurs embranchements et appartenant toutes à la même Compagnie viennent aboutir à une même gare. En ne prenant sur ces lignes rien que les trains de banlieue ne faisant pas un trajet plus long que 50 km, la longueur de réseau à équiper électriquement (fig. 2) serait d'environ 260 km de voies doubles, comprenant 159 stations et nécessitant actuellement un mouvement de 398 trains par jour, dans toutes les directions. Ces trains sont généralement formés d'une locomotive et d'un tender, d'un wagon mixte à bagages et à voyageurs et de 3 wagons à voyageurs, quelquefois 4 ; le total de places offertes est de 210 dans le premier cas et de 270 dans le second. Les départs les plus fréquents ont lieu entre 4 h 30 m et 6 h 30 m du soir ; ils ont lieu alors toutes les 30 minutes sur certaines lignes et toutes les 12 minutes sur d'autres.

C'est ce réseau que M. Child propose de

[1] *The Electrical World*, 16 octobre 1897.

transformer. Nous retracerons les grandes lignes de son projet, sans entrer dans l'étude des détails, pour lesquels nous renvoyons le lecteur au mémoire original.

Organisation du service. — La fréquence des départs serait trois fois plus grande qu'actuellement; par contre, les trains ne comporteraient que 3 wagons de 50 places, soit au total 150 places assises. Chaque voiture complètement chargée pèserait 20 tonnes environ, ce qui ferait un poids de 72 tonnes par train, la première voiture, qui serait motrice, pesant plus lourd que les autres; leur longueur serait de 14,65 m. L'équipement électrique des voitures motrices comprendrait 4 moteurs de 125 chevaux, pouvant maintenir un effort normal de 3 650 kg à la jante des roues. Cette puissance permettrait une accélération de 0,54 m : s et permettrait d'atteindre des vitesses commerciales de 64 km : h sur les lignes les plus favorables et de 36 km : h sur la voie la plus rude, où les rampes sont importantes et les arrêts fréquents. Pour obtenir ces vitesses, il faudrait que les arrêts ne fussent pas de plus de 20 secondes chacun.

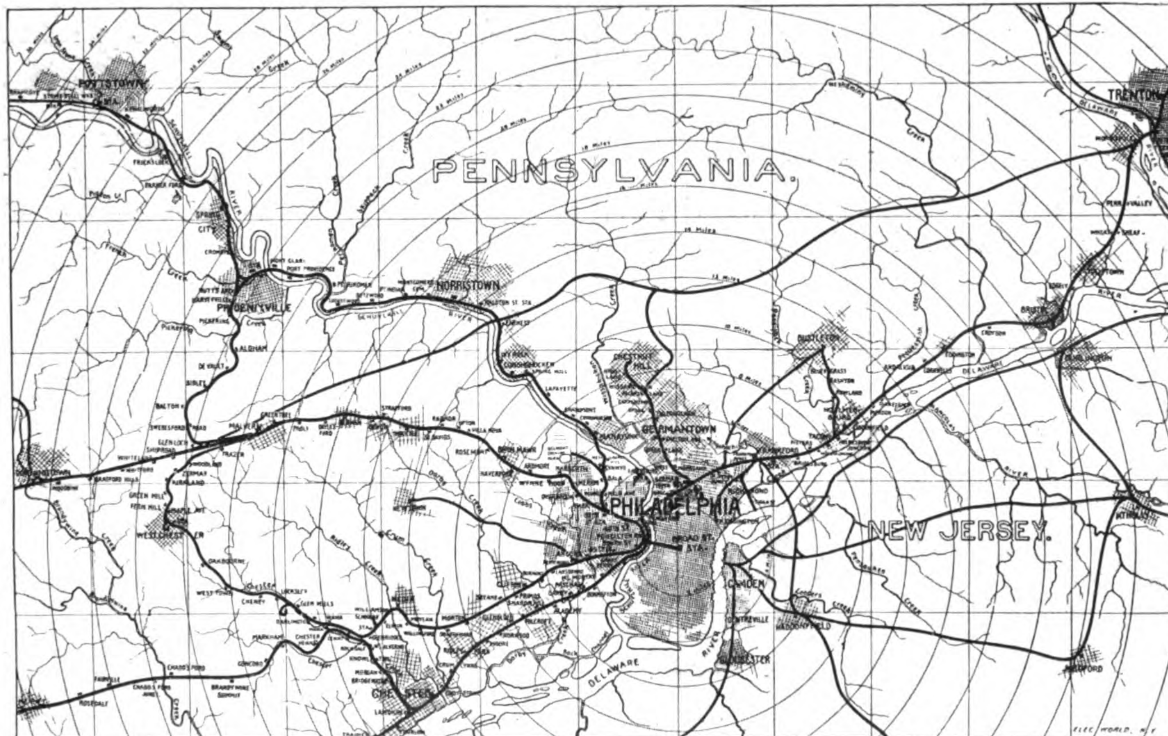


Fig. 1. — Carte de Philadelphie et des environs, montrant le réseau de banlieue de la Pennsylvania R. R. Cie.

Usine génératrice. — La dépense totale d'énergie électrique pendant les 24 heures nécessitée par le service ci-dessus serait de 225 000 kilowatts-heure aux rails, soit, en tenant compte des pertes diverses dans les lignes, les transformateurs et les accumulateurs, de 315 000 kilowatts-heure au tableau, ce qui correspond à une puissance de 13 000 kilowatts. Le matériel comprendrait 2 moteurs à vapeur à quadruple expansion de 1 2000 chevaux chacun, accouplés directement à 2 génératrices de 4 000 kilowatts, fournissant des courants triphasés à 5 000 volts, avec une fréquence de 16 à 20 périodes par seconde; les excitatrices auraient une puissance totale de 100 kilowatts à 750 volts. En outre, un moteur de 1 200 chevaux accouplé directement à 2 génératrices du type ordinaire des tramways, c'est-à-dire fournissant du cou-

rant continu à 750 volts, et une batterie d'accumulateurs de 4 500 ampères-heure, complè-

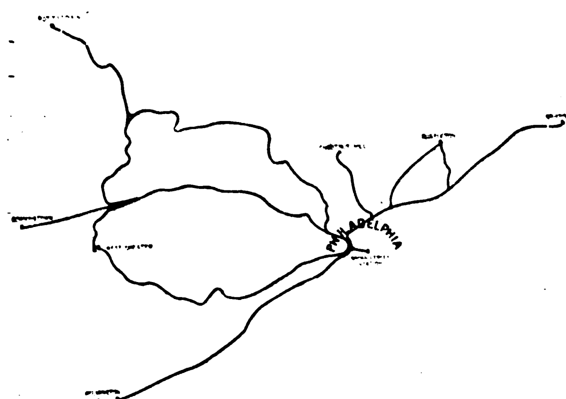


Fig. 2. — Carte du réseau électrique.

teraient l'usine; ce dernier groupe servirait à alimenter les services intérieurs de l'usine et la partie des voies située entre celle-ci et la gare centrale où les trains se succèdent à de très courts espaces de temps.

Transmission. — Les courants triphasés à 5 000 volts seraient transmis tout le long des voies par lignes aériennes en cuivre nu, sur poteaux de 9 à 10 m de hauteur; pour le service le plus chargé la section totale des conducteurs serait de 684 mm², soit 228 mm² par conducteur; la chute de potentiel serait ainsi de 20 p. 100 au maximum et de 10 p. 100 en moyenne.

Les voitures ne seraient pas alimentées directement par ces lignes, mais par l'intermédiaire de sous-stations où les courants alternatifs triphasés seraient transformés en un courant continu à 750 volts.

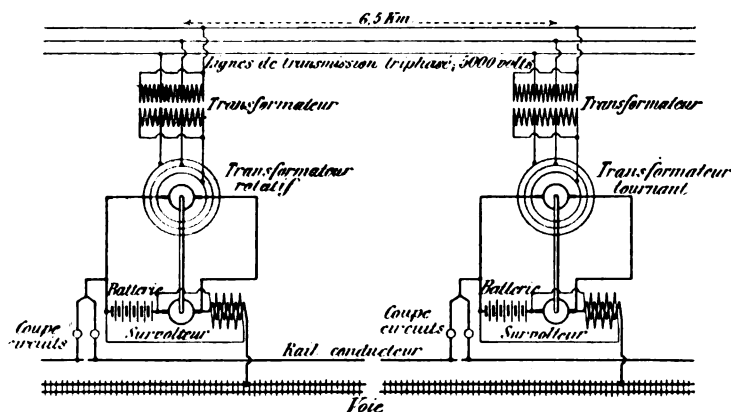


Fig. 3. — Schéma du montage des sous-stations.

Sous-stations. — L'écartement entre deux sous-stations serait variable avec la nature du service; il en serait de même de la puissance de chacune d'elles. Le projet actuel comporterait 40 sous-stations éloignées d'environ 6,5 km l'une de l'autre et d'une puissance moyenne de 400 kilowatts.

Toutes comporteraient le même équipement; seule, la puissance serait variable. Un transformateur réduirait d'abord la tension (fig. 3), puis les courants à basse tension seraient convertis par des transformateurs rotatifs en un courant continu à 750 volts. Sur le même arbre que l'armature du transformateur rotatif serait monté un survolteur de 40 kilowatts relié, comme l'indique le diagramme, à une batterie d'accumulateurs d'une capacité d'environ 3 200 ampères-heure. Les inducteurs de ce survolteur seraient munis de deux enroulements : un serait en dérivation et alimenté par la batterie; l'autre en série serait parcouru par le courant total et serait en opposition avec le premier. En proportionnant convenablement ces deux enroulements, la demande de chaque sous-station serait maintenue à peu près rigoureusement constante.

Ces sous-stations seraient de préférence

établies dans des bâtiments servant également aux signaux ou aux aiguillages, etc., afin de réduire à la fois les dépenses de premier établissement et de main d'œuvre.

Distribution. — Le long de chaque voie un rail conducteur serait disposé, qui serait sectionné en longueurs égales à l'espacement de deux sous-stations consécutives; chacune des sections serait alimentée à ses deux extrémités par les deux sous-stations en face desquelles elle se trouve (fig. 3). Des coupe-circuits permettraient d'isoler une section quelconque en cas d'accident.

Le retour se fait par les rails de la voie, convenablement éclissés.

Les deux conducteurs seraient disposés, comme l'indique la figure 4, dans l'entrevoie; ils seraient suspendus de distance en distance, par l'intermédiaire d'isolateurs en porcelaine, à des potences en fer, fortement maintenues dans le sol par du béton. Ils seraient recouverts sur toute leur longueur par une gouttière isolante renversée, afin d'éviter les con-

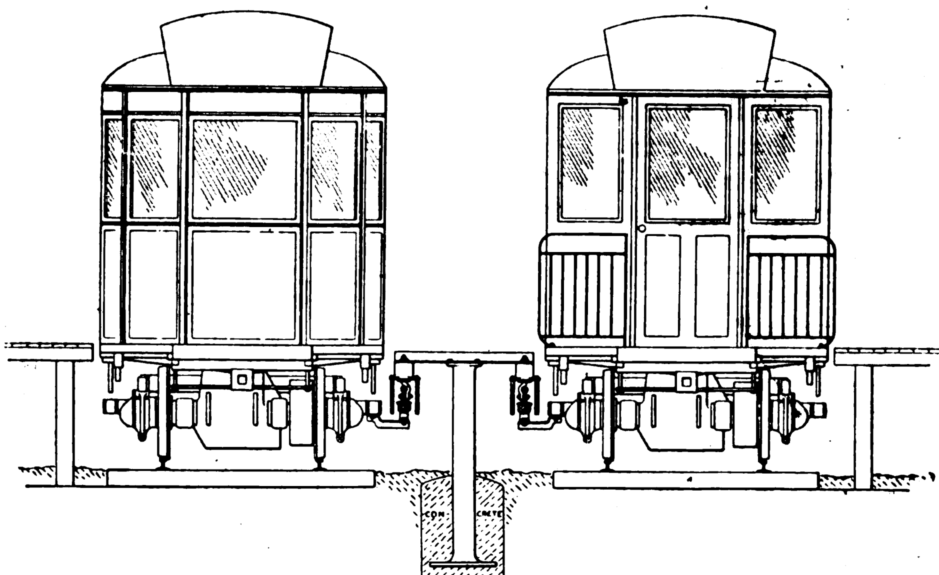


Fig. 4. — Coupe transversale de la voie, montrant les voitures, les plate-formes d'entrée et de sortie, ainsi que la disposition des conducteurs et des prises de courant.

tacts fortuits et de garantir les ouvriers. Les sabots de contact portés par la voiture seraient convenablement recourbés pour venir frotter sous le rail conducteur à l'intérieur du caniveau ouvert par le bas ainsi formé.

Ce rail en acier pèserait 50 km : m, et aurait une largeur de 12,5 cm à la base; il serait fabriqué par bouts de 9 m réunis par des fils de cuivre de 0,30 m de long et de 11,7 mm de diamètre; dans ces conditions, la chute de potentiel dans les circuits d'aller et de retour, avec un train à l'allure de 64 km : h, serait de 52 volts en moyenne, soit de 7 p. 100.

Dans les endroits tels que les passages à niveau où le rail conducteur serait dangereux, il serait simplement supprimé; la longueur des trains permettrait de franchir, sans perdre contact, des espaces de 40 m environ [1].

Observations générales. — Ce projet a été étudié en vue d'assurer avant tout la régularité du service, et d'éviter qu'un accident puisse paralyser l'ensemble de l'exploitation. C'est ce qui explique l'emploi des accumulateurs.

[1] Pour les plus grandes longueurs, on pourrait adopter avec avantage un dispositif analogue à celui qu'a proposé M. A. Bochet (*L'Éclairage Électrique*, t., XI, p. 21). G. P.

La station centrale ne comprend pas de matériel de réserve, mais les moteurs à vapeur sont construits de telle façon qu'un des cylindres puisse être supprimé en cas d'avarie et que le service soit assuré avec les trois autres. En cas d'arrêt complet à l'usine, les batteries distribuées dans les sous-stations permettraient d'assurer le service pendant plusieurs heures.

Un accident sur le réseau de distribution ou à une des sous-stations aurait pour effet de surcharger les stations voisines sans interrompre la marche des trains.

Exposé financier. — Nous résumerons brièvement les considérations financières exposées par l'auteur dans le but surtout de montrer que la réalisation d'un projet de ce genre est parfaitement possible au point de vue économique.

FRAIS DE PREMIER ÉTABLISSEMENT

Station centrale.		
Moteurs à vapeur, chaudières, condenseurs et accessoires	3 500 000 fr	
Dynamos, excitatrices, accumulat., tableau de distribution, etc . . .	3 000 000 »	
Terrains et bâtiments. .	1 000 000 »	
Total	7 500 000 fr	7 500 000 fr
Sous-stations.		
Batterie de 400 éléments (3 200 amp.-h.) mise en place. . . .	400 000 fr	
Transformateur rotatif et survolteur	50 000 »	
Tableau de distribution	10 000 »	
Transformateur statiq.	40 000 »	
Terrains et bâtiments.	50 000 »	
Total par sous-station	550 000 fr	
Soit pour 40 sous-stations		22 000 000 »
Lignes de transmission et de distribution.		
Poteaux en fer, complets avec isolateurs, fondation en béton, pour 250 km environ . . .	1 125 000 fr	
Conducteurs en cuivre.	425 000 »	
Mise en place	50 000 »	
Rails conducteurs (515 km, poids 25 000 tonnes métriques environ) y compris les isolateurs, la pose et l'éclissage.	7 000 000 »	
Total	8 600 000 fr	8 600 000 fr
		38 100 000 fr
Matériel roulant.		
160 équipements élect. complets à 50 000 fr chacun = ...	8 000 000 fr	
Transformation des anciennes voitures et construction d'un certain nombre de nouvelles	1 500 000 »	
Total	9 500 000 fr	9 500 000 »
Total général.		47 600 000 fr
Soit, en chiffres ronds . . .		50 000 000 »

DÉPENSES D'EXPLOITATION

Génération et transformation de l'énergie électrique.		
Stations centrales.		
Combustible, eau, huile (¹), par an . . .	1 800 000 fr	
Salaires (²), par an . .	125 000 »	
Total	1 925 000 fr	1 925 000 fr
Sous-stations.		
Salaires (³), par an. . .	35 000 »	
Huile, matériaux divers	10 000 »	
Total	45 000 fr	
Soit pour 40 sous-stations		1 800 000 fr
Total		3 725 000 fr

Réparations.

5 p. 100 pour l'usine centrale.
7 » pour les sous-stations.

(1) En admettant une dépense de charbon de 0,9 kgr par kilowatt-heure au tableau.

(2) Très réduits par suite de l'emploi des appareils mécaniques pour la manipulation du combustible.

(3) Dépendraient de la possibilité de combiner les sous-stations avec les gares, tours de signaux, cabane d'aiguillage, etc.

4 p. 100 pour les lignes de transmission.	
4 » pour le réseau de distribution.	
8 » pour les moteurs.	
Total général	3 025 006 fr
Exploitation.	
Un conducteur et un mécanicien par train, soit, pour 160 trains, services de jour et de nuit, 350 hommes environ à 6 500 fr par an	1 775 000 fr
Intérêts à 5 p. 100.	2 500 000 »
Total général.	11 025 000 fr

Le parcours total annuel serait de 15 617 000 trains-kilomètres; les dépenses seraient donc d'environ 70,6 cent par train-kilomètre.

D'autre part, en comptant sur un total annuel de seulement 32 000 000 de voyageurs, avec une recette moyenne de 0,50 fr par voyageur, les recettes totales annuelles atteindraient 16 000 000 fr, laissant un bénéfice de 5 000 000 fr environ.

Il faut remarquer cependant qu'une partie des frais d'entretien, d'amortissement et de personnel, relatifs à l'Administration centrale, aux gares et aux voies, devrait être imputée au service de banlieue. Mais, d'un autre côté, les recettes ont été faiblement évaluées et l'on peut espérer qu'elles seraient plus élevées, étant données surtout et la plus grande vitesse atteinte et la plus grande fréquence des départs, deux des avantages les plus goûtés du public parmi ceux que permet la traction électrique. G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur la conductibilité électrique des substances conductrices discontinues, à propos de la télégraphie sans fil;

Par Edouard Branly (1).

« Les remarquables essais de télégraphie sans fil de Marconi ont appelé l'attention sur la conductibilité des substances métalliques discontinues et sur l'étude expérimentale que j'en ai faite le premier en 1890 et 1891. Marconi a fait usage de mes tubes à limaille sans en modifier le mode de fonctionnement, et, si le mélange spécial de poudres métalliques auquel il donne la préférence semble avantageux, il est aisé de reconnaître qu'un mélange aussi compliqué n'est pas nécessaire, et il me semble que c'est surtout à l'état de conductibilité de la poudre employée que la sensibilité doit être attribuée.

» Ayant signalé autrefois les conditions qui augmentent la sensibilité, je viens de reprendre cette étude et j'ai confirmé par de nouvelles expériences mes premiers résultats (1).

» J'avais reconnu que les substances les plus sensibles étaient celles qui offraient au galvanomètre une très légère conductibilité, et, dans bien des cas, pour y parvenir, j'exerçais avec un poids une pression de 50 gr à 100 gr sur une couche de limaille de 1 mm à 2 mm d'épaisseur, renfermée dans un godet en ébonite entre deux électrodes métalliques. J'obtenais ainsi, dans le circuit formé par la poudre, un élément Daniell et un galvanomètre sensible à miroir, une déviation de quelques millimètres sur la règle divisée. Avec des mélanges de poudres isolantes et de poudres métalliques, lorsque la proportion de l'isolant était grande, on n'arrivait à cet état limite que par d'énormes pressions.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 939, séance du 6 décembre 1897.

(1) Voir, dans le journal *La Lumière Électrique*, mai et juin 1891, t. XL, deux articles d'ensemble sur les variations de conductibilité sous diverses influences électriques. Un résumé des principaux phénomènes a été publié dans le *Bulletin des séances de la Société française de physique*, année 1891, p. 135 141.

» Actuellement, sans m'inquiéter de mesurer la valeur de la pression exercée, je renferme la limaille métallique dans une chambre étroite en ébonite disposée verticalement; la limaille y est comprise comme à l'ordinaire entre deux tiges métalliques qui servent d'électrodes, l'une des tiges peut être rapprochée ou écartée à volonté à l'aide d'une vis de pression munie d'un tambour, et je tourne la vis jusqu'au moment où une *très légère* conductibilité apparaît. L'appareil, bien construit par M. Gendron, fonctionne d'une façon très satisfaisante. Il permet d'opérer facilement, de faire varier la poudre employée et dispense, pour les essais, de la construction délicate d'un tube analogue à ceux qu'emploie Marconi. Il est parfois difficile de limiter à quelques millimètres de l'échelle la déviation obtenue en serrant la vis; mais, si la conductibilité obtenue correspond à un écart de 50 à 100 divisions, on la supprime par un léger choc. L'aiguille du galvanomètre revient au zéro, et alors, bien que la conductibilité soit nulle, la substance se trouve réellement dans les mêmes dispositions que si elle offrait une légère conductibitité. Pour le moment, je ne m'astreins pas à synchroniser l'oscillateur et le récepteur, ni à paralléliser le rayonnement électrique, comme cela serait nécessaire pour une transmission à grande distance; je me contente de soumettre successivement mes appareils et un tube à alliage de Marconi (1) à une même action qui est habituellement celle d'une étincelle d'une petite machine Wimshurst (plateau de 35 cm de diamètre), placée à 25 m et plus. Comme autrefois, mes limailles sont tamisées et elles sont prises d'autant plus fines qu'elles se montrent plus conductrices. Beaucoup de métaux et d'alliages à composition définie donnent de très bons résultats. L'aluminium et le bronze d'aluminium se comportent bien, mais ils ne sont pas les seuls, et il serait nécessaire, pour faire une énumération utilisable, de mettre en regard du nom du métal la grosseur de la limaille convenable et même l'*âge* de la limaille.

» J'ai insisté, en 1891 (1), sur les propriétés des poudres métalliques noyées dans des isolants et agglomérées par fusion. Ces propriétés étaient les mêmes que celles des poudres métalliques plongées dans l'air ou dans un gaz raréfié. Les variations de conductibilité de ces substances solides se présentaient dans les mêmes circonstances et elles disparaissaient par le choc et par la chaleur. Mes expériences ne paraissent pas avoir été répétées, elles m'avaient d'ailleurs demandé au début quelques tâtonnements. Si Lodge avait opéré à son tour avec ces substances solides, il aurait probablement renoncé à son expression de *cohéreurs* (2).

» Les mélanges de limailles et d'isolants peuvent être variés d'une infinité de façons : résines et limailles, gomme laque et limailles, baumes et limailles, etc. Souvent, actuellement, je donne à ces mélanges la forme de pastilles de 1 mm d'épaisseur environ et de 2 mm à 3 mm de diamètre. Au lieu de pastilles, il est très commode d'employer des feuilles minces de collodion et limailles, de gélatine et limailles, de celluloïd et limailles, etc. La préparation de ces feuilles est très simple, très rapide, et permet de varier à volonté la proportion et la grosseur des grains métalliques. Qu'il s'agisse de pastilles ou de pellicules, le mode d'emploi est le même qu'avec les poudres. On les place entre les électrodes de l'appareil à vis dont j'ai parlé plus haut et l'on tourne la vis jusqu'au moment où l'on obtient une très légère conductibilité. S'il

(1) J'emploie un tube construit à Londres suivant les indications de Marconi. Il est beaucoup plus sensible que d'autres de même provenance et a été mis à ma disposition par M. Ducretet.

(1) *Comptes rendus*, 12 janvier 1891.

(2) Mes tubes à limaille ont reçu de Lodge le nom de *cohéreurs*, ce nom a été généralement accepté. Cette expression repose snr un examen incomplet du phénomène et sur une interprétation inexacte; j'ai proposé le nom de *radioconducteurs*, qui rappelle la propriété essentielle des conducteurs discontinus d'être *excités* par le rayonnement électrique. M. Ducretet se sert de mes divers radioconducteurs dans les appareils qu'il a construits pour réaliser la *télégraphie hertzienne* sans fils.

y a lieu, on supprime cette conductibilité par un choc. La sensibilité peut être extrêmement grande, égale ou supérieure à celle des poudres les plus sensibles.

» Je n'insiste pas sur la sensibilisation par un premier effet ; c'est un point qui a une grande importance, je l'ai signalé à plusieurs reprises dans des publications antérieures. Notons encore que l'intensité du choc qui produit le retour a besoin d'être réglée.

» Il n'est pas inutile de faire remarquer que l'intensité du courant continu qui parcourt la substance sensible joue un rôle intéressant ; on obtient des effets spéciaux en réduisant la force électromotrice à $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{100}$ de Daniell ou en employant des courants thermo-électriques.

» J'ajoute qu'on peut obtenir des mélanges qui ne restent conducteurs qu'un instant et qui reviennent immédiatement, sans choc, à leur résistance primitive. Cet effet paraît même se produire avec des substances quelconques en variant convenablement le mode opératoire [1]. »

Quelques faits nouveaux observés dans les tubes de Crookes ;

Par Virgilio MACHADO [2].

« Quand on fait passer la décharge électrique d'une bobine de Ruhmkorff dans un tube de Crookes portant la croix d'aluminium soudée au bout de l'anode, on observe les faits suivants :

» 1° Sur la paroi anticathodique on voit paraître, en même temps que l'ombre de la croix, une autre ombre dont aucun auteur n'a encore, que je sache, signalé l'existence.

» 2° Cette dernière ombre se présente sous la forme d'un cercle dont le diamètre est inférieur à la longueur totale des deux branches verticalement opposées de la croix de Malte en aluminium.

» 3° Quand on approche de l'extrémité du tube de Crookes un pôle magnétique, les deux ombres s'écartent de la partie centrale du bout de ce tube.

» 4° L'écart de l'ombre circulaire est de beaucoup plus considérable que celui de l'ombre de la croix.

» 5° L'ombre circulaire se met à 90° du champ magnétique.

Cette ombre circulaire semble être la plus grande base d'un tronc de cône dont la plus petite serait le disque cathodique, et qui aurait pour axe la ligne perpendiculaire au plan de ce même disque.

» Il paraît vraisemblable que le tronc de cône ainsi défini serait vide de toutes radiations utiles. Les rayons cathodiques actifs le limiteraient suivant les génératrices, et ils partiraient alors seulement du bord du disque, comme cela arrive dans l'écoulement de l'électricité statique. C'est autour de l'ombre circulaire susdite qu'on observe une couronne douée de la fluorescence verte de la plus grande intensité. »

(1) Ma communication dépasserait les limites réglementaires si je m'étendais sur les analogies que présente la conductibilité des substances conductrices discontinues et la conductibilité nerveuse, les neurones jouant le rôle des grains métalliques.

(2) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 945, séance du 6 décembre 1897.

Téléphone différentiel pour la mesure de la résistance d'un électrolyte ;

Par R. FEDERICO [1].

La méthode le plus généralement employée pour la mesure de la résistance d'un électrolyte polarisable est celle de Kohlrausch [2] ; mais on sait que le minimum du téléphone n'est pas net et qu'il faut déplacer plusieurs fois le curseur sur le fil du rhéocorde avant

(1) *Il Nuovo Cimento*, série IV, t. VI, p. 161, septembre 1897.

(2) *Wied. Ann.*, t. XI, p. 653, 1880 et t. LX, p. 315, 1897 ; *La Lumière Électrique*, t. III, p. 29, 1881 et *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 467, 1897.

de l'obtenir ; de plus, le point pour lequel on obtient le minimum n'est pas exactement celui pour lequel la proportionnalité des résistances des quatre branches a lieu. La mesure, quoique moins précise, est plus commode et se fait plus rapidement qu'en employant l'électrodynamomètre ; néanmoins elle est encore trop longue lorsqu'il s'agit d'une résistance variable. De plus, elle est impraticable dès que la résistance atteint quelques ohms.

Le téléphone optique de Wien [1] est d'un réglage très pénible, et la délicatesse de ses organes le rend peu pratique.

La méthode différentielle, proposée par R. Federico, est plus exacte que celle de Kohlrausch et peut être employée aussi bien pour la mesure de faibles résistances que pour la mesure de très grandes résistances. Elle est analogue à celle du galvanomètre différentiel pour les résistances métalliques.

L'appareil se compose d'un téléphone qui diffère du récepteur ordinaire Bell parce qu'il a deux noyaux de fer doux disposés de chaque côté de la lame vibrante. Ces noyaux peuvent être approchés plus ou moins de la lame pour le réglage. Les bobines qui entourent les noyaux de fer doux sont aussi identiques que possible : même résistance, même longueur de fil et même nombre de spires, afin que le coefficient de self-induction soit le même. Ces bobines sont renfermées dans deux boîtes de tôle percées de deux trous par lesquels passent exactement les barreaux de fer doux. A la partie supérieure sont soudés deux tubes de laiton continués par des tubes de caoutchouc qui portent le son directement aux oreilles.

Le courant alternatif est obtenu au moyen d'un petit commutateur à bascule : quatre pointes, reliées deux à deux, plongent alternativement deux par deux dans quatre godets à mercure reliés en croix. Le mouvement oscillatoire du commutateur est produit par une corde vibrante tendue au-dessous d'un électro-aimant et munie d'un petit interrupteur à mercure, ce système est actionné par une pile indépendante.

On peut en modifiant la tension de la corde faire varier le nombre d'interruptions par seconde et par suite la fréquence du courant alternatif entre des limites assez étendues.

Soient B_1, B_2 les deux bornes de l'alternateur ; de ces bornes partent deux circuits dérivés ; dans l'un est la résistance à mesurer X et une des bobines du téléphone, dans le second, une résistance connue R et l'autre bobine. Le courant circule dans les bobines de telle sorte que les deux noyaux agissent sur la lame en sens contraires.

On règle le téléphone en déplaçant les noyaux de fer doux, de façon que, ayant remplacé X par une résistance égale à R, on obtienne le silence. Une fois ce réglage préalable effectué, on place sur le second circuit la résistance à mesurer X et on fait varier R jusqu'à ce que le silence ait lieu. La valeur de X est alors donnée par celle de R.

Il n'est pas facile d'obtenir le silence complet ; on a généralement un minimum comme dans la méthode de Kohlrausch ; ceci tient à ce que :

1° Le son fondamental de la corde vibrante n'est pas celui de la lame téléphonique ;

2° Les coefficients de self-induction de R et de X sont différents ;

3° Le courant alternatif n'est pas sinusoïdal.

Cette dernière cause est moins importante ici que dans l'appareil de Kohlrausch ; le courant est plus voisin, en effet, du courant sinusoïdal.

On élimine les deux premières causes en modifiant la tension de la corde jusqu'à la mettre à l'unisson avec la lame, et en employant des boîtes de résistance sans self-induction, par exemple un rhéostat à liquide, lequel peut varier d'une manière continue. La mesure s'effectue ainsi très rapidement.

---

[1] *Wiedemann Annalen*, t. XLII, p. 593, 1891 ; Voir *La Lumière Électrique*, t. XLI, p. 185, 1891.

L'alternateur décrit plus haut ne peut plus servir dès que la résistance à mesurer est supérieure à une certaine valeur, en général assez faible.

Pour des résistances élevées, l'intensité serait trop faible, le contact entre les pointes mobiles et le mercure est insuffisant pour laisser passer le courant. En augmentant la force électromotrice de la pile, on a l'inconvénient d'employer un grand nombre d'éléments. Il vaut mieux, dans ce cas, employer une bobine d'induction, dont l'interrupteur à marteau est remplacé par l'interrupteur à corde vibrante employé déjà, la régularité est plus grande et on a l'avantage de pouvoir régler le nombre des alternances.

Le silence du téléphone ne s'obient que très difficilement et dans des conditions spéciales, mais le minimum est si net et si facile à saisir que cela ne peut diminuer la vitesse de la mesure ; le timbre change en effet suivant que le son est produit par l'une ou l'autre des bobines.

La sensibilité de la méthode permet d'obtenir une précision plus grande que celle à laquelle on parvient par la méthode de Kohlrausch. En comparant les résultats d'expériences faites avec le téléphone différentiel, avec l'électrodynamomètre et avec les autres méthodes, l'auteur a pu, sur des résistances de 10000 ohms, percevoir la différence produite par une vingtaine d'ohms dans une mesure rapide et par une dizaine d'ohms seulement en opérant avec plus de soin. L'approximation est donc de $\frac{1}{1000}$ environ, ce qui est bien suffisant pour des mesures ordinaires. Naturellement la résistance des bobines du téléphone doit changer avec la grandeur de la résistance X à mesurer. Ainsi pour $X < 10$ ohms, la résistance des bobines téléphoniques était de 1 ohm environ ; pour $X < 100$ ohms, elle était de 10 ohms et pour $X > 100$ ohms, elle était de 75 ohms.

L'alternateur à corde est bon tant que X est inférieur à 50 ohms, au delà il faut employer la bobine d'induction.

Pour des résistances très grandes, les boîtes ordinaires sont insuffisantes et on emploie des résistances liquides. Il est bon que les électrodes qui plongent dans ces résistances soient impolarisables, néanmoins l'auteur a employé sans inconvénient de l'eau acidulée avec électrodes de platine. Ces résistances variables se construisent de la façon suivante : un tube de verre est fermé à l'extrémité inférieure par l'une des électrodes, l'autre électrode est fixée à l'extrémité d'un second tube de verre qui peut glisser dans le premier. On gradue cette résistance et la mesure est très rapide, il suffit de faire glisser le tube intérieur jusqu'à obtenir le silence et de lire la valeur de la résistance sur le tube même.

Afin de rendre l'appareil plus transportable, l'auteur a employé l'alternateur suivant :

Deux roues dentées égales sont fixées sur un même axe et séparées par un disque d'ébonite de même diamètre, elles sont isolées de l'axe et disposées de façon que les dents de l'une correspondent aux vides de l'autre. Elles sont en communication chacune avec un pôle d'une pile au moyen d'un ressort souple.

Deux lames, de l'épaisseur totale des roues, sont placées à la périphérie et diamétralement opposées, de sorte que quand l'une touche une dent de la première roue elle est en face du vide de la seconde roue, tandis que l'autre lame touche une dent de la seconde roue et se trouve en face du vide de la première. Ces deux lames sont les pôles de l'alternateur.

La vitesse de rotation est facilement réglable et permet de modifier le nombre des alternances.

Le rhéostat à liquide a été perfectionné par l'emploi de mercure à la partie inférieure des tubes comme électrode ; en faisant varier la pression, on fait varier le niveau du mercure et par suite la résistance du tube.

La méthode exposée permet, avec un peu d'habitude, de faire une mesure en deux ou trois secondes. G. G.

Remarques sur le mode d'action des fils de Lecher;

Par P. Drude [1].

L'auteur conteste l'explication de Cohn et Heerwagen, d'après laquelle le système de Lecher serait le siège de deux oscillations, l'une primaire, fortement amortie, et l'autre secondaire, moins amortie, la période dépendant du système entier aussi bien que de la grandeur et de la distance des plaques.

Le système de Lecher doit être plutôt considéré comme un système de condensateurs en série; et en y appliquant la théorie donnée par Kirchhoff (en 1857), on obtient par le calcul la période non seulement de la vibration fondamentale, mais aussi celle des vibrations d'ordre supérieur. Naturellement le calcul est compliqué par cette circonstance que les condensateurs ne forment pas à eux seuls tout le système, mais qu'il faut y comprendre encore les fils qui se prolongent au delà du pont et les fils qui joignent les pôles de la bobine à l'intervalle explosif. D'ailleurs la quantité d'énergie qui est envoyée par la vibration au delà du pont B est d'autant plus faible que le pont est plus court : pour cette raison, la portion des fils située derrière B influe d'autant moins sur la période du système que le pont est plus court. Il en est de même des fils de communication avec la bobine : la distance de ces fils entre eux joue le même rôle que la longueur du pont [2].

Au lieu de procéder comme Lecher, c'est-à-dire de déplacer un seul pont sur les fils, ce qui a pour résultat de changer à chaque fois la self-induction, et par suite la période du système, il vaut mieux laisser un premier pont fixe et en déplacer un autre le long des fils; de la position de ce dernier, correspondant à la résonance, on déduit facilement la période de l'excitateur. Les expériences faites dans ces conditions vérifient la théorie en ce qui concerne la vibration fondamentale.

Quand on place seulement un pont et qu'on fait se terminer les fils par un condensateur, le tube vide s'illumine tout le long des fils; cependant, avec des méthodes d'investigation plus sensibles, telles que la méthode bolométrique de Rubens, on constate encore l'existence d'ondes le long des fils. Ici encore, on peut appliquer le calcul de Kirchhoff, en considérant les trois condensateurs placés en série, l'onde fondamentale est indiquée par le tube vide, et les ondes d'ordre supérieur sont indiquées par le bolomètre.

Rubens fait les plaques terminant les fils plus petites que les plaques reliées à l'intervalle explosif; la période est ainsi plus voisine de ce qu'elle serait, si les dernières étaient isolées dans l'air; mais, au point de vue de l'intensité des ondes, il est préférable de prendre les plaques des deux systèmes d'égale grandeur, afin de perdre moins de lignes de force.

M. Apt a employé la méthode bolométrique, mais M. Drude fait remarquer que les conditions dans lesquelles les mesures ont été faites n'étaient pas les plus avantageuses. Il importe surtout de mettre en évidence le caractère ondulatoire; il faut, pour cela, que la différence entre les nœuds et les ventres soit aussi accusée que possible; on obtient ce résultat en reliant le premier pont au sol, ce que M. Apt ne paraît pas avoir fait : il est vrai que cette dérivation affaiblit la valeur absolue des variations de potentiel.

L'affirmation de M. Apt que le système de Lecher se prête mieux à la production d'ondes peu amorties, ne parait pas bien justifiée; ce physicien conclut aussi que dans la mesure des différences de potentiel maximum, on doit produire un amortissement assez considérable, d'après les calculs de M. Bjerkness; c'est un peu plus que ce que dit Bjerkness : ce dernier trouve seulement que l'amortissement apporte moins de perturbations dans la méthode d'observation par les étincelles secondaires que par la méthode bolométrique. M. L.

[1] *Wied. Ann.*, t. LXI, p 631-637.

[2] Voir Apt. *L'Écl. Élect.*, t. XIII, p. 87.

Propriétés magnétiques de l'acier doux dans un champ constant, comparées à celles du fer doux;

Par A. Abt [1].

L'acier doux en question est un acier Martin hongrois, façonné en fer à cheval et formant le noyau d'un électro-aimant. L'intensité du champ compris entre les armatures est mesurée par la méthode balistique. Cet acier doux possède, à peu de chose près, les mêmes propriétés magnétiques que le fer doux, sous l'influence des courants permanents; il peut remplacer le fer doux pour les noyaux des électro-aimants puissants.

Mesure d'une capacité au moyen de la balance;

Par V.v. Lang [2].

A l'un des bras du fléau d'une balance est suspendue une bobine dont les spires sont horizontales; au-dessous se trouve une bobine pareille, dans laquelle on envoie un courant alternatif. Si la première bobine est fermée sur elle-même, le courant induit par la seconde présente sur le courant inducteur une différence de phase de 90° et les deux bobines se repoussent. Les extrémités de la bobine suspendue sont reliées ensuite aux armatures d'un condensateur; la différence de phase se trouve comprise entre 0° et 90° et les deux bobines s'attirent. L'attraction A a pour expression :

$$A = MI^2b^2RC\frac{1 - b^2LC^2}{1 - 2b^2LC + (R^2 + b^2L^2)b^2C^2}$$

où M est un facteur de proportionnalité, I l'amplitude du courant inducteur, b la période du courant inducteur divisée par 2π, R et L la résistance et la self-induction de la bobine suspendue, C la capacité du condensateur.

Quand C est petit, on peut négliger dans la fraction son carré et les puissances supérieures et il reste :

$$A = MI^2b^2R(1 + b^2LC),$$

Cette méthode permet de mesurer les capacités de l'ordre du microfarad à 1 p. 100 près.

Détermination des pouvoirs inducteurs des solides;

Par H. Starke [1].

L'auteur perfectionne la méthode de mesure qu'il a indiquée précédemment [2] en utilisant les oscillations rapides, telles que les emploie Nernst [3]. Ce procédé a l'avantage de ne plus exiger des liquides aussi isolants et de permettre l'emploi de morceaux de solide encore plus petits.

CORRESPONDANCE

A propos des instruments enregistreurs Siemens et Halske.

Paris, le 12 décembre 1897.

Cher Monsieur,

Dans la revue intitulée « Instruments enregistreurs Siemens et Halske » publiée dans *L'Éclairage Électrique* du 4 décembre dernier, se trouve décrit un mode d'enregistrement que, le premier, j'ai appliqué aux galvanomètres à cadre mobile (brevet du 6 novembre 1893). La notice, que je vous adresse, en montre l'application à un galvanomètre de ce type.

Veuillez agréer, etc.

E. Ducretet.

---

(1) *Wied. Ann.*, t. LXI, p. 794-799.
(2) *Wied. Ann.*, t. LXI, p. 800-803.

(1) *Wied Ann.*, t. LXI, p. 804-805.
(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 227.
(3) *L'Éclairage Électrique*, t. XIII, p. 84.

CHRONIQUE

Oxydation de l'azote atmosphérique par l'étincelle électrique. — M. F. Von Lepel a étudié l'oxydation de l'azote de l'air sous l'action de l'étincelle ou de l'arc électrique. L'appareil qui a donné les meilleurs rendements en acide nitrique se compose, nous dit l'*Industrie Électro-Chimique* qui a analysé l'article du *Chemical Journal*, d'un tube vertical d'un à deux litres de capacité, élargi à la partie inférieure où se trouvent placées les deux électrodes. La cathode qui est au-dessous de l'anode, est formée par une lame tandis que l'anode est constituée par une pointe. Pendant la décharge électrique, on fait passer dans l'appareil un courant d'air de vitesse modérée, ainsi qu'un petit jet d'un liquide bon dissolvant de l'acide nitrique ; de sorte que ce dernier est entrainé au fur et à mesure de sa formation.

Si l'air n'est pas continuellement renouvelé, le peroxyde d'azote qui se forme sous l'action de l'étincelle est détruit rapidement par l'étincelle même, avant d'avoir pu donner de l'acide nitrique.

La dissolution ainsi obtenue avec un appareil cylindrique de 1,75 litre de capacité, renfermait 0,56 p. 100 d'acide nitrique. Avec un appareil sphérique d'un litre de contenance, la dissolution ne renfermait que 0,31 p. 100 d'acide nitrique.

Le rendement en acide s'élève davantage avec l'augmentation d'intensité du courant qu'avec l'augmentation de longueur de l'étincelle électrique.

La quantité d'air, la nature des électrodes et du liquide employé influent sur le rendement en acide.

Les liquides qui ont une action oxydante accroissent le rendement; pourtant l'eau oxygénée parait le diminuer.

Application de l'électricité à l'irrigation à Bakersfield (Californie). — Une application très intéressante des transports d'énergie à distance par l'électricité est décrite dans *The Journal of electricity*, de San-Francisco.

Il s'agissait d'irriguer, dans le comté de Kern, plusieurs milliers d'hectares de terrains sous lesquels, à une profondeur de 6 à 10 mètres, circulent d'importantes nappes d'eau, mais que n'arrose aucune rivière. Le cours d'eau le plus proche est la rivière de Kern, dont le débit est trop faible pour assurer l'irrigation de ces vastes espaces, mais dont les dénivellations, par contre, sont assez considérables pour permettre d'engendrer plusieurs milliers de chevaux. On a donc adopté la solution suivante qui réalise, par l'intermédiaire de l'électricité, la transformation d'un courant d'eau de faible « intensité » et grande « différence de potentiel » en un courant à grand débit et à basse pression. Sur le cours de la rivière de Kern, à Bakersfield, on a établi une usine hydro-électrique d'une puissance de 2,500 chevaux; le courant électrique est transmis jusqu'aux terrains à arroser, à environ 40 km de distance. Là des moteurs électriques actionnent des pompes qui puisent dans les nappes souterraines un volume d'eau suffisant pour assurer une excellente irrigation.

Les accidents et la traction mécanique. — On pourrait croire, *a priori*, que le nombre des accidents a augmenté dans une forte proportion depuis que la traction mécanique, et spécialement la traction électrique, a remplacé les anciens modes de traction, employés il y a dix ans. Ce fait n'est pas vérifié en pratique, et de toutes récentes statistiques, faites en Amérique, et spécialement à New-York, démontrent que le nombre des accidents est à peu près constant, étant entendu que l'on tient compte de l'augmentation progressive de la population et par conséquent du trafic.

C'est ainsi, qu'à New-York, pendant une période de vingt-cinq ans :

En 1872, avec une population de 968710 habitants, le rapport des accidents de tramways était de 25,96.

En 1882, avec une population de 1 280857 habitants, le rapport des accidents de tramways était de 34,09.

En 1892, avec une population de 1 708 124 habitants, le rapport des accidents de tramways était de 45,73.

En 1896, avec une population de 1 934 077 habitants, le rapport des accidents de tramways était de 60,82.

On voit que le nombre d'habitants étant double

en 1896 du nombre de 1872, le rapport des accidents est, à peu de chose près, dans une proportion double.

Si l'on rapporte le nombre d'accidents aux voyageurs transportés, ce qui permet mieux encore de comparer les différences, on trouve que :

En 1887, avec 203 251 927 voyageurs et 32 730 000, voitures-kilomètres, on a 160 accidents ; le rapport du nombre de voyageurs aux accidents est de 1 270 325.

En 1892, avec 236 403 537 voyageurs et 38 068 000, voitures-kilomètres, on a 145 accidents ; le rapport du nombre de voyageurs aux accidents est de 1 630 366.

En 1896, avec 345 643 406 voyageurs et 55 630 262, voitures-kilomètres, on a 178 accidents ; le rapport du nombre de voyageurs aux accidents est de 1 941 822.

En tenant compte de l'augmentation de trafic, on voit que le nombre d'accidents, par rapport au nombre de voyageurs transportés, tend à diminuer et non à augmenter. Ce qui s'explique facilement par l'accoutumance que prend le public peu à peu avec les modes de traction mécanique ; et sachant qu'ils peuvent être plus dangereux, étant plus rapides, il prend de plus grandes précautions.

Les chiffres qui précèdent peuvent donc nous permettre de dire que le nombre des accidents est resté à peu près constant depuis une période de dix ans à New-York.

Comme complément à ces quelques renseignements, nous indiquerons les indemnités payées par les compagnies de tramways de New-York aux particuliers victimes d'accidents, pendant les dix dernières années :

En 1887, il a	été payé	535 020 fr
1890	»	721 454
1896	»	1 003 662

Le montant total, payé en ces dix dernières années, a été de 7 426 160 fr et cela pour un nombre total de voyageurs transportés égal à 2 412 308 531 : ce qui équivaut à une indemnité payée de 0,378 centimes par voyageur transporté. On voit que ce chiffre ne peut pas être négligé et qu'il faut le compter dans l'établissement du prix de revient de la voiture-kilomètre.

Le trôlet et l'archet. — Le contact par fil aérien est le plus communément employé aujourd'hui pour la traction électrique. La voiture est surmontée soit d'une perche à l'extrémité de laquelle est adaptée une roulette mise en contact avec le fil qui suit la voie (système à trôlet) ; soit d'un appareil qui frotte ce fil (système à archet).

Le trôlet a été employé de préférence et si l'adoption presque exclusive d'un système permet de conclure que l'expérience a prouvé sa supériorité sur les autres, il faut admettre la grande supériorité du trôlet sur l'archet, ce dernier n'étant employé que dans une proportion de 2 p. 100 environ sur la totalité des lignes en service.

Quelques personnes supposent que l'usage très limité de l'archet doit être attribué à des brevets pris pour ce genre d'appareil et limitant son emploi. Or, l'utilisation de l'archet ne dépend d'aucun brevet, et chaque constructeur est libre de l'installer.

Le seul avantage attribué à l'archet est qu'il nécessite dans les courbes moins de points de suspension, et permet de supprimer les aiguilles aériennes ; par contre, il exige l'adoption d'un second fil, fixé au-dessus et parallèlement au fil de trôlet, ainsi que de nombreuses attaches, ce qui nuit au bon aspect de la ligne aérienne.

L'archet comporte beaucoup d'autres inconvénients.

Ainsi, pour faciliter le frottement sur le fil et diminuer le bruit qu'il occasionne, l'appareil doit être enduit d'une matière grasse, huile ou graisse, qui, en retombant, forme cambouis sur les voitures et salit les chaussées.

On doit aussi considérer que, par l'effet du frottement de l'archet, le fil de cuivre est usé beaucoup plus rapidement que par la roulette, et que (ce qui ne peut avoir lieu pour l'archet) la perche de trôlet peut être isolée d'une façon parfaite pour éviter les accidents provoqués par la chute de fils télégraphiques ou téléphoniques.

Enfin, dans les cas de traction mixte, c'est-à-dire lorsque des accumulateurs ou le conduit souterrain sont employés alternativement sur une certaine partie du parcours et le fil aérien sur l'autre partie, la perche de trôlet peut être pourvue d'un dispositif spécial qui permet de l'abaisser complètement sur le toit de la voiture.

Le trôlet a évidemment de grands avantages sur l'archet ; ces avantages l'ont fait choisir presque exclusivement, non seulement en Amérique, mais encore en Europe, et les plus grands réseaux de tramways, Lyon, le Havre, Hambourg, Bruxelles,

etc., l'ont adopté après avoir étudié tous les autres systèmes; il est non seulement le plus pratique, mais encore celui qui offre les meilleures conditions de fonctionnement et de durée.

Le système à trôlet vient encore d'être tout récemment appliqué par la Compagnie Thomson-Houston aux voitures de la ligne de la place de la République à Pantin. Une disposition de la perche permet de passer sous des ponts très surbaissés où il ne reste qu'un intervalle de 5 à 6 centimètres entre le toit de la voiture et les poutres du pont.

La ligne est mixte une partie extra-muros où la fraction se fera par ligne aérienne, et une intra-muros où elle se fera à l'aide d'accumulateurs.

Nouvelle lampe à incandescence. — Depuis la découverte d'Edison, l'industrie des lampes à incandescence a fait des progrès considérables. Le travail délicat des fils a été beaucoup perfectionné et l'on a réalisé de grandes économies dans la fabrication.

Actuellement il faut dépenser au moins par bougie une puissance de deux watts et on ne peut guère espérer abaisser ce chiffre à un watt et demi. Après tous les travaux de M. Moissan sur la chimie aux hautes températures il n'y a pas non plus à compter sur une matière incandescente bien supérieure au charbon, et il semble qu'après avoir réduit de plus en plus la quantité de platine utilisée on n'ait plus rien à tenter pour perfectionner l'industrie des lampes à incandescence.

Mais si l'on ne peut abaisser les dépenses relatives au courant électrique, il reste encore un moyen de diminuer les frais sur les lampes elles-mêmes. Celles-ci n'ont pas une durée indéfinie, les fils de charbon se cassent ou bien le dépôt de charbon qui a lieu sur la paroi intérieure de l'ampoule diminue l'éclairement.

M. Ch. Howard a, d'après *Zeitschrift für Elektrotechnik*, pris un brevet pour la fabrication de lampes à incandescence dont les différentes parties peuvent être facilement changées.

La lampe se compose de l'ampoule ordinaire en forme de poire, mais celle-ci est terminée par un tube de verre de 5 centimètres environ qui est supporté par le culot. Le tube est fermé à l'extrémité opposée à l'ampoule et porte les fils de platine habituels. Ceux-ci se continuent par des fils de nickel assez longs pour dépasser la moitié du tube de verre. A leurs extrémités sont de petites cavités où viennent s'engager deux autres fils de nickel, maintenus ensemble par un petit pont de verre et aux bouts desquels est fixé le fil de charbon. De sorte que le fil de charbon, avec ses deux extrémités de nickel maintenues par un pont de verre, forme un petit système indépendant et facile à déplacer.

La construction du culot offre aussi quelques particularités. L'extrémité du tube de verre est soufflée dans la cavité que présente le culot. Ces deux parties ne peuvent être séparées et la monture protège le verre. Un fil extérieur entoure encore cette monture pour l'empêcher de s'écarter.

Le reste de la fabrication ne diffère pas de la fabrication habituelle.

Lorsque les fils de charbon sont hors d'usage, il est facile, avec cette lampe, d'en refaire une nouvelle. On casse le tube de verre au milieu environ et on sépare la lampe en trois parties : le culot, l'ampoule et le fil de charbon. Il est aisé de remplacer l'une d'elles, le charbon par exemple ; on joint ensuite les deux parties du tube de verre et on les soude, il ne reste plus qu'à faire le vide.

Cette manipulation est extrêmement simple et peu coûteuse et il est clair que la nouvelle lampe n'a aucune différence avec une lampe neuve ; de plus ce renouvellement peut être répété autant de fois que l'on veut.

L'économie est évidente et elle est surtout considérable pour le fabricant, qui est obligé de rejeter un certain nombre des lampes neuves qui ont été mal faites.

Vieillissement artificiel des alcools par l'ozone. — Les eaux-de-vie vieillies en fût pendant un certain temps perdent leur saveur piquante et leur goût âcre qui sont dus à certains produits essentiels.

D'après M. E. Morin, 100 litres d'eau-de-vie renferment :

Alcool éthylique.	50 837 gr
» propylique normal . .	28,17
» isobutylique	6,52
» amylique.	190,20
Furfurol et bases	2,19
Huile odorante du vin	7,61
Aldéhyde	traces

Au bout de cinq à six ans de séjour en fût toutes les matières autres que l'alcool s'oxydent, se résinifient et se déposent. L'alcool, ainsi débarrassé de

ces impuretés, acquiert finesse et arome. Mais cette amélioration est coûteuse, car elle immobilise un capital énorme.

Étant admis que la bonification des eaux-de-vie est due à une oxydation lente, on a songé à essayer une oxydation directe et rapide par l'ozone. C'est là le procédé de MM. Broyer et Petit; il est appliqué, nous dit *L'Electricien*, à Tournus (Saône-et-Loire) par le Dr Treillard.

L'ozone est préparé dans un appareil à effluves disposé de la façon suivante : un tube de verre de 45 cm de longueur et 1 cm de diamètre est muni à l'intérieur et à l'extérieur de deux spirales d'aluminium symétriques. Ce tube est entouré par un manchon de verre avec lequel il est soudé à ses deux extrémités, l'espace annulaire communique avec le tube central par de petits orifices placés près des soudures.

Chaque tube est actionné séparément par une bobine indépendante. La température ne doit pas dépasser 20°; on sait, en effet, qu'à cette température on obtient, dans les meilleures conditions, 10 p. 100 d'ozone seulement; au-dessus, la quantité d'ozone devient insignifiante.

Un ozoniseur est formé par trois tubes semblables placés à la suite les uns des autres et que l'oxygène traverse successivement avant de pénétrer dans une cuve à alcool. Ces cuves sont en bois et hermétiquement fermées par un couvercle; leur contenance est de 5 hectolitres. Elles sont au nombre de trois reliées entre elles par des tubes de verre qui font communiquer la partie supérieure de la première avec la partie inférieure de la seconde, etc. L'oxygène ozonisé amené à la partie inférieure de la première traverse ainsi les trois cuves; à sa sortie, il passe dans un flacon laveur auquel il cède ses vapeurs alcooliques, puis dans une allonge à chlorure de calcium où il se dessèche et arrive dans un deuxième ozoniseur; il traverse ensuite trois nouvelles cuves d'alcool et se rend dans un gazomètre central d'où il est repris pour recommencer les mêmes opérations.

Il faut faire passer dans l'alcool à 50° pour que le vieillissement soit complet, cinq fois son volume d'oxygène ozonisé. Le volume absorbé est d'environ 50 litres par hectolitre d'alcool.

L'alcool ainsi traité est laissé en repos dans de grands foudres pendant quatre à cinq mois pour que les produits oxydés puissent se déposer. On soutire alors et on filtre; l'alcool est prêt à être livré à la consommation.

La galvanisation électrolytique du fer. — Depuis bien longtemps cette question est l'objet des recherches des électrochimistes, et nous avons eu souvent l'occasion d'indiquer dans cette Revue les procédés proposés ou employés pour la résoudre.

C'est qu'en effet le procédé ordinaire par immersion de la pièce, préalablement décapée, dans un bain de zinc fondu recouvert de sel ammoniac, est très coûteux : il exige trois hommes, deux pour manœuvrer les pièces et un pour agiter la surface du bain, donne lieu à une perte considérable de métal par oxydation, et enfin laisse à la surface des pièces une couche de zinc généralement trop épaisse.

A la vérité ce procédé primitif a été perfectionné récemment pour la galvanisation des plaques de tôle. Le creuset est divisé dans sa partie supérieure en deux compartiments par une cloison longitudinale en fer, de telle façon qu'étant presque entièrement rempli de plomb fondu, on puisse verser, dans l'un des deux compartiments formés par la cloison, une couche de zinc fondu qui surnagera par différence de densité. La plaque de tôle est immergée verticalement dans le compartiment où l'on aperçoit le plomb, et assez profondément pour que, par une manœuvre convenable, on puisse faire passer son arête supérieure de l'autre côté de la cloison. En abandonnant la plaque, celle-ci se trouve projetée en dehors du bain par la poussée qu'exerce le plomb, et vient flotter à sa surface en traversant la couche de zinc, et en se galvanisant.

Ce procédé diminue la quantité de zinc nécessaire, mais il ne peut guère s'appliquer qu'aux tôles

MM. Cowper-Coles ont imaginé un procédé électrolytique qui permet de galvaniser économiquement les objets de toutes formes, procédé qui est exploité en grand par MM. Watson, Laidlaw et Cᵒ, de Glasgow. En voici les principales opérations d'après une brochure de M. Carl Richter, que résume notre confrère *L'Électrochimie*, dans son numéro de septembre :

Les objets en fer, d'abord débarrassés de la couche graisseuse qui les recouvre par immersion dans un bain chaud de soude caustique à 10 p. 100, sont ensuite décapés au moyen d'une dissolution d'acide sulfurique marquant 7,5 degrés Beaumé. Pour faciliter le décapage on emploie plusieurs dispositions suivant la forme des objets. S'il s'agit de tuyaux, ceux-ci sont placés dans un

tambour tournant dans une cuve longue et étroite remplie du bain de décapage ; s'il s'agit de pièces dont les trois dimensions sont du même ordré de grandeur, on les met dans une cuve tournant autour d'un axe incliné ; de temps en temps on jette du sable fin et de la paille dans le tambour ou dans la cuve ; on obtient ainsi un décapage parfait. Quant aux objets à surface très mouvementée, le décapage s'effectue en les soumettant alternativement à l'action d'un jet de sable et du bain de décapage.

Après avoir été décapés, les objets sont rincés dans de l'eau contenant 0,20 p. 100 d'ammoniaque, afin d'éviter toute oxydation dans la suite des opérations ; ils sont ensuite portés aux bains de galvanisation.

Pour la galvanisation des tuyaux, ceux ci sont suspendus, au moyen de cordes, à des arbres en fer forgé reposant sur les parois de la cuve de galvanisation et tournant de 180° alternativement dans un sens et dans l'autre. De part et d'autre de chaque tuyau sont disposées des anodes en zinc de 20 mm d'épaisseur ; intérieurement est placée une anode constituée par un cylindre de bois recouvert de feuilles de zinc si le tuyau est de diamètre suffisant, ou par un fil de zinc maintenu en place au moyen de cales triangulaires en caoutchouc si le diamètre est petit. La connexion des anodes au pôle positif de la dynamo s'effectue par des câbles souples isolés ; la connexion du tuyau au pôle négatif se fait à l'aide d'un contact mobile à glissement, en forme de cavalier.

Au sortir du bain les objets galvanisés sont lavés à l'eau chaude sous une pomme d'arrosoir, puis séchés avec de la sciure de bois chaude. Ils ont alors une couleur presque blanche qui se conserve longtemps. La couche de zinc est absolument uniforme.

Action de l'acide azotique sur l'aluminium. — Les résultats les plus contradictoires ont été donnés par les meilleurs chimistes au sujet de l'action de l'acide azotique sur l'aluminium.

M. Stillman, dans une note présentée à la *Société Chimique Américaine* et analysée dans *L'Electrochimie*, rappelle les différents travaux qui ont été exécutés et donne le résultat de ses expériences personnelles faites pour élucider la question.

Wœhler, Deville, Birbaum, Hall, Henderson, Hunt, Langley, Roscoe, l'*Encyclopédie Britannique* : l'aluminium n'est pas attaqué par l'acide azotique même lorsque ce dernier est concentré et bouillant.

Phillips, Remsen, Richards, Stores, Würtz (Dictionnaire) : l'aluminium est inattaqué par l'acide azotique dilué ou concentré aux températures ordinaires, mais il est lentement dissous à chaud.

W. Borchers, F. Fischer, Pattisson Muir : l'aluminium est à peine attaqué par l'acide azotique.

Meutchutkin : l'acide azotique n'exerce qu'une faible action sur l'aluminium qui se trouve protégé par la couche d'alumine formée.

Montemartin : l'aluminium est soluble dans l'acide azotique à 27 p. 100 ; en deux mois, 2 gr d'aluminium se dissolvent dans 100 cm³ de cet acide.

D'un autre côté, G.-A. Leroy dit que l'acide azotique agit immédiatement sur l'aluminium. Il avait employé des feuilles du métal, polies, dégraissées à la soude caustique, lavées à l'alcool, séchées à l'étuve et coupées en morceaux. D'après ses expériences, l'aluminium presque pur (95,5 p. 100) est attaqué même par l'acide azotique froid. A 100° il se produit une action violente.

G. Lunge et F. Schmid ont, par des expériences très soignées, reconnu que l'acide azotique de densité 1,20 attaque rapidement le métal à la température ordinaire, tandis que l'acide de densité 1,50 exerce une action beaucoup plus faible. L'aluminium était sous forme de feuilles de 1 mm d'épaisseur, 80 mm de long et 27 de large.

L'auteur, M. Stillman, a effectué quelques essais sur l'aluminium à 99,6 p. 100 en copeaux grossiers. Ce métal, sous forme de tournure, est rapidement attaqué par l'acide azotique chaud ou froid ; la dissolution est plus rapide avec l'acide de densité 1,15 qu'avec l'acide plus concentré de densité 1,45.

Il n'est pas douteux que la forme sous laquelle le métal est employé exerce une grande influence sur la rapidité de l'attaque. En feuille, l'action est assez lente.

M. Stillman a obtenu des cristaux incolores, octaédriques, de composition $Al^2(AzO^3)^6 + 18 H^2O$.

Le Gérant : C. NAUD.

ÉVREUX. IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Tome XIII. **Samedi 25 Décembre 1897** **4e Année. — N° 52.**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

CONGRÈS DE SAINT-ÉTIENNE

DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES

C'est à Saint-Étienne que s'est tenu cette année, au commencement d'août, le Congrès annuel de l'A.F.A.S. Située au milieu d'une région des plus industrielles en même temps que des plus pittoresques, cette ville se trouve remplir les meilleures conditions pour servir de siège à un congrès. Aussi les congressistes étaient-ils en nombre respectable; reçus très cordialement par la municipalité, qui offrait à chacun d'eux un magnifique ouvrage édité à l'occasion du Congrès et contenant la description des particularités de la région stéphanoise; accueillis avec empressement par les industriels désireux de faire connaître et apprécier leurs produits, ils n'ont eu d'ailleurs qu'à se louer d'avoir pris part à ce Congrès.

Comme tous les ans, les communications annoncées étaient nombreuses. Malheureusement, et bien que les applications de l'électricité soient répandues dans la région, les communications relatives à l'électricité ont été en très petit nombre, encore étaient-elles, à l'exception d'une seule, d'ordre tout à fait théorique.

La plupart ont été faites à la SECTION DE PHYSIQUE.

Origine, variations et perturbations de l'électricité atmosphérique ;

Par Marcel BRILLOUIN.

L'auteur commence par rappeler la découverte faite par Hertz, en 1887, de la diminution du potentiel explosif sous l'influence de la lumière ultra-violette, découverte complétée par les recherches de Wiedemann et Hébert, qui ont montré que cette action s'exerce à la cathode et qu'elle a un maximum dans l'air vers la pression de 300 mm de mercure, par celles de Arrhénius qui a observé ce maximum d'action vers 6 mm, par celles de Stoletow qui a constaté que la pression correspondant à ce maximum varie avec l'intensité du champ électrique et à peu près proportionnellement à cette intensité, enfin par les travaux de nombreux physiciens. Des résultats obtenus on peut tirer la conséquence suivante : *Toute surface métallique, chargée d'électricité négative, perd cette électricité lorsqu'elle est exposée aux radiations ultra-*

violettes, quelque faible que soit la charge négative. L'action sur l'électricité positive est nulle.

A la demande de M. Brillouin, M. Buisson a vérifié cette délicatesse d'action de la lumière ultra-violette en exécutant une série d'expériences sur la glace. Un faisceau de lumière ultra-violette (arc électrique, aluminium) traverse une plaque de laiton perforée portée à un potentiel positif, et tombe sur un bloc de glace qui forme l'armature négative du condensateur. Ce bloc repose sur un disque métallique à pied isolant en communication avec un électromètre. Avant l'éclairement, le bloc de glace et l'électromètre sont mis en communication avec le sol, puis cette communication est supprimée. Dès qu'on éclaire, l'aiguille de l'électromètre se déplace, et indique que le bloc de glace perd son électricité négative, jusqu'à égalisation du potentiel de la glace et de la lame de laiton.

L'action sur le bloc de glace sec, au sortir d'un mélange réfrigérant, est très intense, de l'ordre du dixième au vingtième de l'action sur le zinc, comme l'ont montré des expériences comparatives faites avec ce métal. Dès que la surface du bloc commence à fondre, l'action de la lumière ultra-violette diminue beaucoup. Enfin lorsque l'eau de fusion couvre toute la surface éclairée du bloc, la perte d'électricité négative devient négligeable.

La conclusion de ces recherches est que *la glace est très sensible aux radiations ultra-violettes; l'eau y est insensible.*

Rapprochant les résultats obtenus par M. Buisson de ceux rappelés précédemment et relatifs à l'influence d'une diminution de pression sur l'action de la lumière ultra-violette, et faisant remarquer que la lumière ultra-violette du soleil est fortement absorbée par les régions supérieures de l'atmosphère terrestre, M. Brillouin est conduit à une explication intéressante de l'origine de l'électricité atmosphérique, explication que nous reproduisons *in extenso :*

1. — S'il existe à un moment quelconque dans l'atmosphère un champ électrique, les aiguilles de glace des cirrus s'électriseront par influence, positivement à un bout, négativement à l'autre. S'il arrive que l'extrémité négative des aiguilles de glace reçoive des radiations solaires ultra-violettes, ces aiguilles ainsi éclairées perdront toute leur charge négative et resteront électrisées positivement. Donc : *L'état neutre ou négatif des cirrus est instable; tout cirrus éclairé par le soleil devient positif.*

2. — L'expérience a d'ailleurs montré que l'air ainsi éclairé reste isolant (contrairement à ce qui arrive pour les rayons Rœntgen). Dans les expériences de laboratoire, où le conducteur positif est peu distant du conducteur négatif, le transport de l'électricité par mouvement de l'air est rapide ; dans l'atmosphère il en sera autrement. Donc : *L'électricité négative perdue par les aiguilles de glace est déposée dans l'air environnant* (hypothèse). *L'ensemble du nuage apparait comme positif lorsque les aiguilles se séparent de l'air environnant.*

L'état neutre de l'air est instable. L'air qui traverse une région de formation de cirrus éclairés, est négatif. L'air neutre dans lequel s'est évaporé un cirrus positif est devenu positif.

Dans la formation des cirrus par mélange, les mouvements indépendants de masses d'air voisines, les unes nuageuses, les autres limpides, sont fréquents. L'air négatif se séparera alors du cirrus positif. Si la masse d'air négative descend, et si, toujours négative (car l'électricité ne peut disparaître), elle atteint le sol cultivé, les innombrables pointes d'herbes ou de feuilles rendront facile l'échange d'électricité entre le sol et l'air : *le sol continental est chargé négativement par échange avec l'air.*

A la surface des mers rien de semblable ne se produit ; l'air reste négatif ; il se charge de vapeur; quand, par détente, cette vapeur se condense en fines gouttelettes, celles-ci comme des pointes fines, empruntent à l'air sa charge : *les cumulus de détente des région océaniques sont négatifs.*

Au niveau du sol, aucune action directe des radiations ultra-violettes ne se fait sentir,

parce que ces radiations n'y parviennent presque pas, et parce que l'eau n'y est pas sensible.

3. — Il paraît inutile d'insister sur les caractères de la variation diurne, et sur la complication que le transport de l'air électrisé peut lui donner.

L'influence sur les orages est évidente ; le même coup de vent donne de la pluie et des averses la nuit, des orages à la fin du jour, lorsque l'action solaire a électrisé les cirrus, et que la convection a éloigné l'air négatif. La lenteur de cette convection explique également les deux ou trois journées de temps à apparence orageuse, qui précèdent ordinairement le véritable orage dans nos climats.

Dans les régions ou les saisons où l'air est à peu près calme, comme à la limite du cône d'ombre circumpolaire de la saison froide, le cirrus électrisé positivement dans toute sa masse pendant le jour, reste environné de l'air négatif. Dès la nuit venue, l'état stable change ; entre l'air négatif et les aiguilles de glace positives, des effluves s'étendent dans toute l'épaisseur du nuage. Cette explication cadre parfaitement avec toutes les particularités des aurores polaires ; elle convient aussi pour les nuages lumineux observés quelquefois dans nos régions, et pour les lueurs diffuses des soirs d'été dites éclairs de chaleur.

4. — Enfin, le mécanisme de l'action des troubles solaires devient très simple. Toute variation d'éclat ultra-violet du soleil a une action immédiate sur les aurores polaires et l'électricité atmosphérique, là où existent des cirrus, et sur les orages une action qui peut être retardée de quelques jours, là où les cumulus sous-jacents aux cirrus étaient neutres ou à peu près. La nécessité des cirrus préexistants ou en formation, et des cumulus, localise l'action des radiations d'une manière variable avec l'ensemble des circonstances météorologiques.

L'importance des troubles provoqués est sans relation avec l'importance visuelle des facules, mais dépend exclusivement de l'intensité de la partie ultra-violette transmise à travers l'atmosphère. A ce titre les facules et surtout les taches observées à l'œil nu ne sont que des indices défectueux et il est grandement à désirer que les observations de M. Deslandres soient régulièrement organisées et publiées.

5. — D'autres actions, la pulvérisation des gouttelettes d'eau tombant sur un obstacle, ont été indiquées depuis quelques années comme jouant un rôle dans la production de l'électricité atmosphérique. Je crois qu'elles ne jouent qu'un rôle secondaire et perturbateur, et que le rôle fondamental est celui que j'invoque :

L'électricité atmosphérique est entretenue par l'action des radiations ultra-violettes sur les aiguilles de glace des cirrus ; elle est due à la même cause, le champ initial nécessaire s'étant produit inévitablement dans les déplacements relatifs des hautes régions atmosphériques par rapport au globe aimanté terrestre.

Étude du champ électrique de l'atmosphère. Cause et origine de ce champ ;

Par Georges Le Cadet.

Les phénomènes électriques dont notre atmosphère est le siège, prouvent surabondamment qu'il existe des masses électriques au sein même de cette asmosphère. Quelle est la grandeur de ces masses et quelle est leur distribution ? Telles sont les deux questions que M. Le Cadet envisage tout d'abord.

Pour connaître la quantité d'électricité contenue dans une région assez petite pour pouvoir la considérer comme un espace élémentaire, il suffirait théoriquement de déterminer les valeurs des dérivées secondes du potentiel en cette région, prises par rapport à trois axes rectangulaires ; la relation de Poisson.

$$\frac{d^2V}{dx^2} + \frac{d^2V}{dy^2} + \frac{d^2V}{dz^2} = -4\pi\rho$$

permettrait alors de déterminer ρ, c'est-à-dire la masse électrique par unité de volume. La détermination simultanée des valeurs de ces

trois dérivées présente des difficultés pratiques presque insurmontables. Mais les données que nous possédons sur l'électricité atmosphérique nous indiquent qu'à une distance suffisante du sol les surfaces équipotentielles sont sensiblement des plans horizontaux, de sorte que si l'on prend un plan horizontal comme plan des xy, deux des dérivées secondes de la relation précédente s'annulent. Par suite les déterminations expérimentales se trouvent réduites à celles des valeurs de la dérivée seconde prise par rapport à l'altitude.

Mais, quoique ainsi simplifiée, la question n'est pas sans difficulté, car, pour éviter les perturbations produites par les aspérités du sol, il faut n'effectuer les mesures du potentiel qu'à une certaine hauteur, et en outre faire des mesures à des distances assez rapprochées, si l'on veut pouvoir en tirer des valeurs suffisamment approchées de la dérivée seconde de cette quantité; ces mesures ne peuvent donc guère être faites qu'en ballon.

Pour cette dernière raison, les résultats obtenus jusqu'ici sont peu nombreux; le tableau ci-joint indique les valeurs du champ $\varphi = \frac{dV}{dz}$, exprimées en volts par mètre, trouvées par divers observateurs.

A part les résultats de Lecher et de Tuma, l'ensemble des observations indique que le champ diminue avec l'altitude; la dérivée

OBSERVATEUR	LIEU	DATE	CHAMP ÉLECTRIQUE
Lecher	Vienne	6 juin 1885	Croissant de 92 sur le sol à 193, à 550 m.
Tuma.	Vienne	15 sept. 1892	Croissant de 40 à 410 m, à 70, à 1900 m.
Le Cadet. . .	Paris	1er août 1893	Décroissant de 75 à 615 m, à 33, à 1300 m.
Le Cadet. . .	Paris	9 août 1893	» de 37 à 824 m, à 16, à 2520 m.
Boerstein. . .	Berlin	18 août 1893 29 septembre	Décroissant, n'est plus mesurable au-dessus de 3000 m jusqu'à 4000 m.
Baschin. . . .	Berlin	17 février 1894	Décroissant du sol (130) à 3000 m où il n'est plus mesurable.
Le Cadet ([1]). .	Lyon	24 mars 1897	Décroissant du sol (118) à 1500 m (30).

seconde du potentiel est par suite négative. En outre, il semble bien exister une région où le champ est nul. *Tout se passe donc*, conclut M. Le Cadet, *comme si l'atmosphère inférieure était le siège de masses électriques de signes contraires dont l'excès est positif*,

([1]) Les résultats obtenus par M. Le Cadet dans son ascension de mars dernier ont été communiqués à l'Académie des Sciences le 3 avril et publiés dans le numéro de ce journal du 8 mai, t. XI, p. 321.

Tout récemment, M. Le Cadet communiquait les résultats obtenus dans une nouvelle ascension faite le 11 septembre à Paris, sous la conduite de M. Besançon. (*Comptes rendus*, t. CXXV, p. 494, 4 octobre 1897.)

Le dispositif expérimental essayé à Lyon a été amélioré en faisant usage de mèches fusantes de 90 cm de longueur, brûlant pendant une heure trente minutes. En outre les collecteurs étaient disposés de façon à obtenir une déviation négative des feuilles de l'électromètre dans le champ positif. Toutes les mesures étaient effectuées en maintenant la déviation de l'électromètre entre 90 et 200 volts, c'est-à-dire entre les limites mesurables avec précision. De 7 h 45 à 10 h 24 du matin et entre 1050 m et 4150 m au-dessus de la région peu montagneuse comprise entre Paris et Angers, 81 mesures ont pu être faites. Le ciel était très pur et absolument sans nuages; les couches basses étaient brumeuses. Le vent a eu une direction constante d'est-nord-est et une vitesse moyenne de 64 km à l'heure. Les résultats des mesures sont résumés dans le tableau suivant, le champ étant exprimé en volts par mètre.

Altitude.	Champ.	Nomb. de mesures.	Heures limites.	Altitudes extrêmes.	Valeurs extrêmes du ch.
m.			h.m. h.m.	m. m.	
1429	36,5	17	7,55 — 8,23	1050 — 1800	44 — 27
2370	22,1	22	8,25 — 8,55	1900 — 2760	25 — 20
3150	19,7	16	8,57 — 9,18	2850 — 3520	24 — 17
4015	13,4	26	9,37 — 10,24	3900 — 4150	15 — 11

Le champ à la surface de la terre, mesuré avant le départ de l'usine de la Villette oscillait entre 130 et 170; on peut adopter la valeur moyenne 150, car, d'après la variation diurne de ce jour, le champ sur le sol a peu varié et a plutôt augmenté pendant la durée des mesures en hauteur.

cet excès faisant normalement équilibre à la couche négative du sol à une hauteur moyenne qui, sous nos latitudes, est vraisemblablement voisine de 4 000 *m*. (Dans sa dernière communication à l'Académie des Sciences, l'auteur admet pour altitude probable à laquelle le champ devient nul 8 000 ± 2 000 m.)

L'existence d'un excès positif d'électricité dans les basses régions de l'atmosphère se trouvant ainsi établie, on peut se demander ce que renferment les hautes régions situées à des hauteurs supérieures à 6 000 et 8 000 m. En l'absence de mesures du champ dans ces régions, on est réduit aux hypothèses. M. Le Cadet rappelle que, pour l'explication des phénomènes des aurores polaires, on a admis l'existence de masses négatives accumulées dans ces régions jusqu'aux confins de l'atmosphère. Cette hypothèse étant compatible avec l'existence, démontrée par l'observation, d'une zone où le champ est nul, M. Le Cadet ne voit aucune objection à son adoption.

Il reste maintenant à expliquer l'existence d'un excès d'électricité positive dans les basses régions, ainsi que l'existence probable d'un excès d'électricité négative dans les hautes régions. Comme M. Brillouin, M. Le Cadet fait intervenir l'action des radiations ultra-violettes. Ces radiations, absorbées par les *poussières minérales* en suspension dans l'air, chargent les poussières positivement. Les masses électriques positives ont tendance à se rapprocher du sol avec les poussières minérales qui les portent; au contraire, les masses négatives mises en liberté au moment de l'électrisation des poussières, ont tendance à s'élever, entraînées par les gaz et surtout par les vapeurs. Quant à la charge négative que l'on attribue au sol lui-même, elle s'explique par un phénomène d'influence des poussières chargées positivement.

Cette théorie de l'électricité atmosphérique doit permettre de rendre compte, pour être acceptable, des principales variations du champ. C'est en effet ce qui a lieu, suivant M. Le Cadet, si l'on envisage les divers facteurs pouvant modifier les charges positives des poussières et la charge négative de la terre.

En premier lieu, la quantité d'électricité positive, supportée à un certain moment par les poussières, dépend de la durée de l'insolation de celles-ci et de la déperdition éprouvée pendant la nuit. L'influence de ces masses dépend en outre de l'accumulation plus ou moins grande des poussières et des mouvements qu'elles prennent sous l'action des courants atmosphériques. En second lieu, la charge négative du sol se perd par convection et par contact et soulèvement des poussières. On conçoit donc que le champ puisse subir de brusques et importantes perturbations surtout dans le voisinage du sol.

En particulier, lorsqu'un fort vent souffle et s'étend sur une assez grande hauteur, le champ au voisinage du sol devra, dit M. Le Cadet, présenter le caractère suivant: le minimum d'intensité et d'oscillations aura lieu le matin avant que le soleil ait éclairé les couches inférieures de l'atmosphère; à partir du moment où le soleil pénétrera dans ces couches, l'intensité augmentera graduellement, mais les oscillations rapides ne croîtront qu'à partir de l'éclairement des couches basses. Quant au maximum d'intensité et d'oscillations, il se produira à peu près au moment de la plus forte intensité de la radiation ultra-violette, car les poussières étant chassées rapidement par le vent, il n'y aura pas de phénomènes d'accumulation appréciables. Or c'est là précisément le caractère de la variation diurne trouvé par l'auteur en dépouillant les observations de cinquante journées où l'atmosphère était uniformément limpide, un fort vent du nord régnant sur une grande hauteur.

Sur la protection des instruments de mesure contre les vibrations du sol;

Par André BROCA.

Fort gêné dans des observations faites avec des équipages galvanométriques légers, par les vibrations des supports, l'auteur a essayé

d'atténuer les effets de ces vibrations au moyen de cales en caoutchouc placées sous les vis calantes de l'appareil, et a observé, après un grand nombre de physiciens, que l'emploi de ces cales était des plus nuisibles: une cause déterminée qui produisait des oscillations de 2 mm, l'appareil étant placé sur un support en bois fixé au mur, produisait des oscillations atteignant 2 cm, l'appareil étant posé sur des cales en caoutchouc.

Pour étudier en détail ce phénomène, M. Broca a observé et comparé les ondes produites à la surface de deux bains de mercure identiques posés, l'un directement sur une table fixée au mur, l'autre sur une planche épaisse lourdement chargée et portée sur la même table par l'intermédiaire de trois cales de caoutchouc. Le bain de mercure placé sur la table donne, quand une voiture passe dans la rue, une ondulation assez forte dont la fréquense, proportionnelle à la distance séparant les rides, est grande. Le bain de mercure placé sur le massif isolé par des caoutchoucs, présente une ondulation d'amplitude beaucoup plus faible, mais de période plus longue, et à mesure que l'on augmente la charge du massif, l'amplitude diminue tandis que la période augmente.

Il eût été utile, pour préciser ces résultats, de les étudier par la chronophotographie. Toutefois, tels qu'ils sont, ils permettent de tirer quelques conséquences intéressantes relatives à l'installation des appareils, et comme c'était là le but de ses recherches, l'auteur n'a pas cru devoir, du moins pour le moment, pousser plus à fond ces études.

L'amplitude des oscillations que prend un système pendulaire sous l'influence d'une vibration étrangère, peut dépendre surtout des valeurs relatives des périodes du système lui-même et de la vibration ; si ces périodes sont égales ou presque égales, le système pendulaire effectuera, par suite d'un effet de résonance, des oscillations de grande amplitude ; si au contraire les périodes sont très différentes, la résonance n'interviendra pas et le système pendulaire pourra n'effectuer que des oscillations de faible amplitude, même si l'amplitude de la cause perturbatrice est grande. Or, dans les cas où le système pendulaire est un équipage galvanométrique, sa période est longue et précisément de l'ordre de grandeur de la période des oscillations d'un support chargé placé sur des cales en caoutchouc; par conséquent il ne peut y avoir aucun avantage à disposer sur un tel support un galvanomètre, il ne peut en résulter qu'une augmentation de la perturbation. Cette perturbation sera d'ailleurs d'autant plus faible que la masse et l'amortissement du pendule seront plus grands : de là provient une des grandes supériorités des équipages à aiguilles verticales sur les équipages ordinaires de Thomson ; de là découle aussi l'explication des bons résultats obtenus avec le dispositif proposé par le docteur Julius pour la suspension des galvanomètres, dispositif, qui augmente la masse et l'amortissement de l'ensemble.

Au sujet de ce dispositif, M. Broca fait observer que dans beaucoup de cas on peut sans inconvénient le remplacer par un dispositif plus simple. Dans des essais faits par l'auteur, il lui a suffi de suspendre par trois fils une planchette, de la charger d'un poids de 20 kg environ et de la munir de quatre ailettes en bois de 10 cm de côté, trempant dans l'huile, pour avoir une plate-forme mettant un galvanomètre Thomson complètement à l'abri de perturbations même considérables du sol ; l'établissement de cette suspension est d'une grande simplicité et peut être réalisé immédiatement au moment du besoin dans tous les laboratoires.

Mais il est un autre cas où les phénomènes de résonance n'interviennent pas, où les vibrations agissent uniquement par leur amplitude : c'est celui où l'on a à exécuter un pointé optique sur un phénomène produit par un appareil placé à grande distance. C'est le cas qui s'est présenté à M. Broca dans des recherches sur la polarisation rotatoire magnétique dont il a été récemment question dans

ce journal. Il a eu besoin d'exécuter des pointés précis sur des raies du spectre solaire produit par un réseau concave de Rowland de 3 m de rayon et 590 traits au millimètre. L'oculaire étant placé à 3 m du réseau et les deux appareils sur des tables massives, toute observation était impossible : les deux raies D, par exemple, prenaient facilement des oscillations ayant pour amplitude le cinquième environ de la distance qui les séparait. En plaçant au contraire les tables lourdes et massives sur quatre fortes cales en caoutchouc, les observations sont devenues très bonnes.

En résumé, conclut M. Broca, l'emploi des cales en caoutchouc est à proscrire toutes les fois que l'on a dans un appareil un équipage oscillant léger et délicatement suspendu : dans ce cas il faut recourir aux plates-formes suspendues par fils, lourdes et amorties. Au contraire, quand l'appareil à protéger est rigide, ou que ses pièces oscillantes sont relativement lourdes, l'emploi des caoutchoucs utilisés dans l'industrie pour amortir les trépidations des moteurs permet d'arriver à des résultats satisfaisants dans bien des cas.

Sur quelques phénomènes électriques dans le Sahara;

Par le Dr Foveau de Courmelles.

Lorsque le sirocco souffle dans les régions sablonneuses qui limitent au sud nos possessions algériennes, on observe divers phénomènes électriques en même temps que l'on perçoit l'odeur caractéristique de l'ozone. M. Foveau de Courmelles attribue ces manifestations électriques et la production de l'ozone au frottement des particules siliceuses soulevées par le vent et pense que les succès thérapeutiques de la station de Biskra doivent être attribués, pour la plus grande part, à ces phénomènes météorologiques.

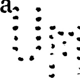
L'intensité des manifestations électriques est parfois considérable. A la suite d'un violent sirocco qui le surprit, en août 1895, entre Ouargli et Ghardaia, M. F. Wegler, beau-frère de l'auteur, put observer les faits suivants : les pommeaux des selles des meharis étaient surmontés d'une flamme bleue assez analogue à la flamme de l'alcool ; un bâton levé en l'air présentait à son extrémité supérieure une flamme semblable dont la longueur diminuait lorsqu'on abaissait le bâton ; à l'extrémité d'un sabre la flamme était plus longue et plus vive ; peu de temps après, un violent coup de tonnerre, très rare dans ces régions, se produisit.

Phénomènes d'influence dus aux rayons X ;

Par le Dr Foveau de Courmelles.

L'auteur a constaté qu'un tube à vide, généralement l'ampoule double présentée à l'Académie des sciences en avril dernier, devient le siège d'une lumière stratifiée lorsqu'il est placé dans le voisinage d'un tube de Crookes en activité ainsi que de la bobine qui l'actionne. Cette lumière, dit-il, ne peut être attribuée aux phénomènes de luminescence des verres et cristaux signalés par M. Radiguet, car d'une part elle est intérieure au tube, et d'autre part elle est stratifiée, oscillant synchroniquement avec la fluorescence du tube de Crookes. Il ne croit pas non plus qu'elle soit attribuable à l'action des ondes électromagnétiques produites par la bobine située dans le voisinage, et il cite à l'appui de cette opinion quelques expériences. Il se trouve ainsi conduit à admettre que cette lumière est due à un phénomène d'influence directe des rayons X. Les expériences de l'auteur ne nous paraissant pas à l'abri de toute critique, nous croyons plus simple d'attribuer le phénomène observé à un effet de résonance du tube sous l'influence des ondes électromagnétiques.

Pour terminer le compte rendu des communications sur l'électricité faites à la section de physique, signalons la communication de M. Hurmuzescu *sur l'influence du magnétisme sur le dépôt électrochimique des métaux magnétiques*, question qui ne tardera pas à



être exposée dans ce journal; celle de M. Mathias *sur la construction et l'utilisation des cartes magnétiques* qui sera bientôt analysée, et la communication du Dr A. Leuillieux *sur l'introduction dans l'organisme d'ions à action thérapeutique*, communication d'un caractère trop médical pour être analysée ici.

A la section de Médecine, plusieurs communications ont été faites sur les rayons X.

M. Destot a présenté de nombreuses *radiographies anatomiques* qui montrent tout le parti qu'on peut tirer de ce procédé pour l'étude des vaisseaux. Pour obtenir ces radiographies, l'auteur injecte dans les organes des substances opaques aux rayons X et choisit ces substances suivant le degré de petitesse des vaisseaux à étudier. C'est ainsi que dans le même organe sera successivement injecté du suif contenant : 1° de la poudre de bronze qui montrera la distribution générale des vaisseaux; 2° de l'argent réduit qui montrera des réseaux plus fins; 3° du mercure émulsionné qui passera à travers les capillaires. Pour la production des rayons X, il emploie un tube de son invention actionné par une machine de Wimshurst mise en mouvement par un moteur; cette disposition lui a toujours donné de bons résultats.

Dans une seconde communication, M. Destot montre le parti que l'on peut tirer des rayons X pour reconnaître les lésions traumatiques du pied et du poignet; il a constaté ainsi que les lésions des os du carpe et de l'astragale étaient beaucoup plus fréquentes qu'on le croit généralement.

Signalons enfin deux communications du Dr Frestier sur l'emploi de l'électricité en médecine.

Parmi les nombreuses communications faites à la Section du Génie Civil, deux seulement se rapportent à l'électricité.

L'*Application de la machine électrique Hollerith à l'exploitation des chemins de fer* a été exposée avec beaucoup de développements par le général de Wendrich.

Cette machine, appliquée pour la première fois en 1890 à l'occasion du recensement des Etats-Unis, a été depuis employée à de nombreuses reprises pour la collation de renseignements statistiques, et sans doute elle est déjà connue de la plupart de nos lecteurs. Son principe est d'ailleurs des plus simples : on commence par préparer un carton perforé dont chaque trou indique, par sa position, une donnée particulière; ce carton est placé sur la table de la machine Hollerith, et l'on abaisse alors un couvercle portant un certain nombre de tiges métalliques; les tiges passant à travers les perforations du carton ferment des circuits électriques actionnant des compteurs, lesquels additionnent les données correspondant à chaque perforation, de sorte que les totaux apparaissent immédiatement; le carton est ensuite placé dans un classeur contenant diverses boîtes dont les couvercles s'ouvrent et se ferment automatiquement de telle sorte que les cartons se trouvent classés suivant les diverses indications que l'on veut obtenir; quant aux cartons perforés, ils sont préparés à l'aide d'un appareil qui perce les trous avec la plus grande précision et permet d'en percer jusqu'à 280 sur chaque carton.

Le travail effectué dans ces conditions demande environ cinq fois moins de temps que si l'on relevait à la plume les données que l'on veut collationner; en outre, il donne des résultats beaucoup plus exacts, les erreurs commises en perforant les cartons étant bien moins nombreuses, comme l'expérience l'a montré, que les erreurs commises en transcrivant à la plume. On conçoit donc les services que ce procédé peut rendre dans toute administration où le service des statistiques est développé, particulièrement dans les administrations de chemins de fer. Le général de Wendrich donne à ce sujet des renseignements très détaillés qui, bien qu'intéressants, se rapportent de trop loin à l'électricité pour être reproduits ici. Nous dirons seu-

lement que la machine Hollerith est actuellement employée sur plusieurs réseaux américains pour le dépouillement des indications des quatre millions de lettres de voiture émises par les 670 stations de ces réseaux; leur dépouillement coûtait auparavant 558000 fr par an; aujourd'hui la dépense est réduite à 250000 fr, et le travail est mieux fait.

La seconde communication dont nous ayons à parler est celle de MM. Chaize frères; elle est relative à un *régulateur électrique pour moteur actionnant les métiers à tisser*.

Nos lecteurs savent que l'application de l'énergie électrique à l'industrie textile est une de celles qui sont appelées à prendre bientôt une grande extension. Mais certaines difficultés techniques étaient encore à surmonter. L'énergie exigée par un métier à tisser est loin d'être constante; de plus la faible puissance exigée par chaque métier conduit à actionner simultanément plusieurs métiers par un même moteur et comme chaque métier doit pouvoir être arrêté indépendamment des autres, il en résulte des variations considérables et continuelles de la charge du moteur. Ce sont là des conditions difficilement conciliables avec la régularité de vitesse que doit avoir un métier à tisser pour donner un produit satisfaisant. Il faut donc disposer d'un régulateur de vitesse extrêmement sensible permettant d'obtenir une vitesse constante quelle que soit la charge.

La solution adoptée par MM. Chaize est des plus simples : un petit régulateur centrifuge actionné par le moteur agit sur l'extrémité d'un levier dont l'autre extrémité porte une tige verticale plongeant dans un bac contenant de l'eau; au fond de ce bac est disposée une plaque de cuivre reliée à l'un des pôles de la dynamo; le régulateur étant réglé de telle sorte que la tige vienne buter contre la plaque de cuivre quand la vitesse du moteur est normale, le courant passe alors au moteur par l'intermédiaire de la plaque et de la tige. Quand la vitesse vient à augmenter par suite d'une diminution de la charge, le régulateur produit la rupture du contact entre la plaque et la tige, et le moteur cesse de recevoir le courant jusqu'à ce que sa vitesse ait repris sa valeur normale; la rupture du contact se faisant au sein de l'eau, l'arc électrique résultant de cette rupture ne peut porter la plaque et la tige à une température suffisamment élevée pour provoquer la soudure de ces deux pièces. Ce dispositif, qui figurait déjà à l'exposition de 1889, est aujourd'hui appliqué à de nombreux métiers de la région de Saint-Étienne et donne, paraît-il, une meilleure régulation que celle que l'on obtient par l'emploi de rhéostats.

J. Blondin.

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DE LA VILLE DE ROUEN

Les premiers essais d'éclairage par l'électricité, à Rouen, ont été faits vers 1880, dans le but d'éclairer seulement les quais de débarquement pour accroître la quantité des marchandises que l'on pouvait faire passer par ce port de commerce. Ce mode d'éclairage devait se généraliser rapidement, et c'est pour répondre aux nouveaux besoins que fut fondée la station centrale d'électricité. Cette usine, placée au centre de la ville, devait d'abord fournir les parties avoisinantes : d'où une première distribution par courant continu destinée à alimenter dans un rayon de 1 km environ; puis, pour approvisionner les régions plus écartées, une distribution par courant alternatif à haute tension. On établit ainsi un certain nombre de sous-stations où le courant alternatif à haute tension (2000 volts) fourni par la station centrale est transformé en courant à basse tension et distribué dans un rayon de 500 m environ.

Une batterie d'accumulateurs, composée de

quatre séries de 70 éléments chacune, avait d'abord été installée pour faire le service de jour (ces éléments sont du système Tudor et ont chacun une capacité de 1 050 ampères-heures). Mais l'acroissement de ce service ayant rendu la batterie insuffisante, on n'a conservé que deux séries de 70 éléments à la station centrale, où elles servent pour le réglage du courant continu. A cet effet, le réducteur comprend deux curseurs, un de charge et l'autre de décharge.

Pour satisfaire aux différents besoins de l'usine, trois groupes de dynamos ont été installés (fig. 1) :

1° Deux paires de dynamos Brown, actionnées par deux machines Farcot de 200 à 400 chevaux.

Ces dynamos sont des machines à quatre pôles, à trois paliers. A l'allure normale, elles débitent chacune 1 200 ampères sous 120 volts.

Les dynamos de chaque paire sont reliées en tension et fournissent ainsi du courant

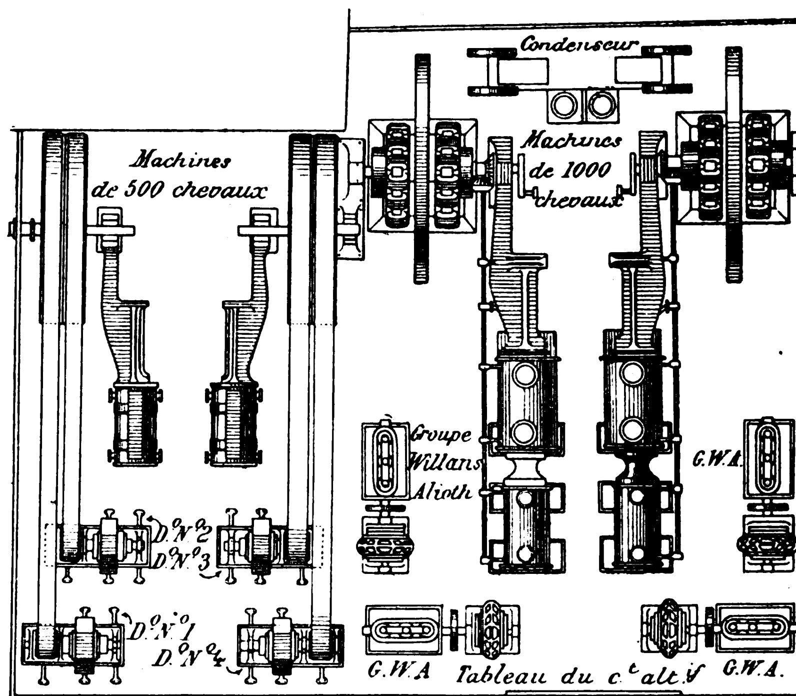


Fig. 1. — Salle des machines.

continu à 240 volts environ pour la distribution urbaine centrale.

Ces dynamos servent aussi à la charge des batteries d'accumulateurs de 70 éléments. La tension de 180 volts qui est alors nécessaire s'obtient grâce au régulateur dont sont munies les machines Farcot et qui permet de faire varier la vitesse de rotation de 1/5 environ. Sous 180 volts le débit n'est plus que de 500 ampères.

2° Deux dynamos Thury actionnées par une machine Carels de 1 000 chevaux.

Ces dynamos sont à dix pôles et à balais en charbon. A l'allure normale, chacune peut débiter 2 050 ampères sous 125 volts. Accouplées en tension elles fournissent du courant continu à 250 volts pour la distribution centrale.

Un groupe identique au précédent, deux dynamos Thury et une machine Carels, sera monté dans quelques mois (ce groupe est représenté à droite sur la fig. 1).

3° Quatre commutatrices Alioth, reliées chacune à une machine Willans.

Ces commutatrices sont, comme on sait, à double enroulement de l'induit. Actionnées

par un moteur, elles peuvent fournir soit du courant continu à basse tension (220 à 280 volts), soit du courant altarnatif (180 volts), soit ces deux sortes de courant simultanément et quelle que soit la proportion de chacun d'eux.

Ces commutatrices lorsqu'elles ne sont pas reliés à leur moteur, peuvent transformer le courant continu (220 à 260 volts) provenant des accumulateurs ou des machines Thury en courant alternatif à 180 volts. Elles permettent par conséquent de transformer le courant continu non utilisé en courant alternatif, et de n'employer ainsi qu'une partie de ces commutatrices comme génératrices de courant alternatif.

Un transformateur correspond à chaque dynamo et élève la tension du courant alternatif produit de 180 à 2 000 volts. On sait que l'inducteur des commutatrices est unique pour la production des deux sortes de courant; en agissant sur le courant qui traverse l'inducteur afin de faire varier la tension du courant continu suivant les besoins du service, on produira donc des variations à peu près analogues dans la tension du courant alternatif; aussi les transformateurs sont-ils munis d'un réducteur de spires qui permet, en faisant varier le nombre de spires du primaire, de maintenir à la tension fixe de 2 000 volts le courant alternatif secondaire.

Le *tableau de distribution* se compose de deux parties principales, l'une relative au courant continu et l'autre au courant alternatif.

Pour le courant continu, le tableau comprend les conducteurs des dynamos Brown et Thury et des accumulateurs, et les conducteurs de courant continu des commutatrices Alioth. Il renferme aussi les appareils qui permettent l'accouplement de ces différents générateurs et le réglage du débit et de la tension (ampèremètres, voltmètres, disjoncteurs...). Enfin à ce même tableau sont fixés les conducteurs de départ avec ampèremètres, interrupteurs, coupe-circuits et résistances.

La partie du tableau qui correspond au courant alternatif se compose de cinq panneaux, quatre identiques pour les quatre commutatrices et un central où se trouvent les appareils d'accouplement et le réducteur de spires des transformateurs. Les panneaux latéraux portent (fig. 2) un rhéostat d'excitation et un

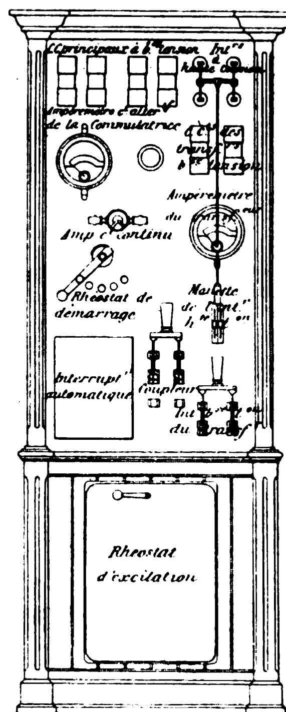


Fig. 2. — Panneau du tableau de distribution du courant alternatif.

rhéostat de démarrage pour la dynamo employée en commutatrice; puis pour le courant continu il y a :

Un disjoncteur automatique;

Un ampèremètre;

Un voltmètre;

Des coupe-circuits;

pour le courant alternatif :

Un interrupteur permutateur pour l'accouplement;

Un interrupteur à basse tension pour le circuit primaire du transformateur;

Un interrupteur à haute tension pour le circuit secondaire, les coupe circuits;

Deux ampèremètres à courant alternatif l'un pour la commutatrice et l'autre pour le circuit primaire du transformateur.

La *canalisation* à courant alternatif à haute tension est souterraine ; elle n'est pas encore complète mais les parties déjà installées sont définitives. Cette canalisation relie l'usine aux sous-stations, situées en dehors du quartier central. Les câbles ont une section décroissante à partir de l'usine, suivant les besoins et le nombre des sous-stations desservies. Ils sont placés directement en terre dans le sable et recouverts d'un grillage protecteur. Chaque tronçon est long de 180 mètres environ ; il est réuni au suivant par une boite de jonction en fonte remplie de matière isolante (fig. 3). Les câbles intérieurs sont reliés par un manchon, et les câbles extérieurs par une double bride. Les boites de branchement sont disposées comme des demi-boîtes de jonction.

Dans les sous-stations le courant est ramené à basse tension au moyen de deux transformateurs, disposition nécessitée par la distribution qui se fait à trois fils. Le local est une pièce carrée de 2 à 3 m de côté, contenant, outre les transformateurs, un tableau d'arrivée du courant à haute tension et deux tableaux de départ, l'un pour l'éclairage public, l'autre pour l'éclairage privé.

A partir de la sous-station, la distribution du courant alternatif à basse tension se fait par une canalisation aérienne définitive. Les trois câbles sont portés par trois cloches de porcelaine fixées sur des potelets de fer au faîtage des maisons. L'écartement des fils de 70 cm environ suffit pour éviter le contact en cas d'ouragan avec des portées de 75 m.

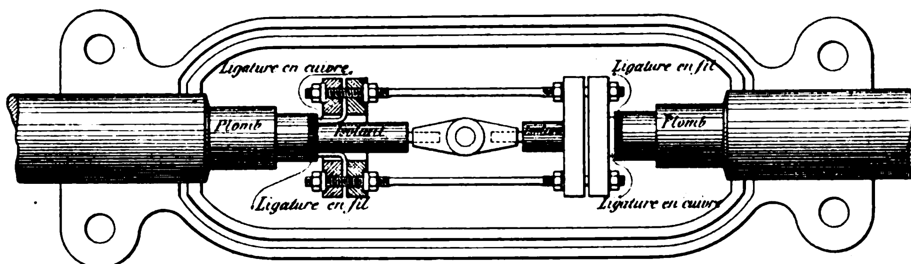


Fig. 3. — Boite de jonction.

Lorsque les portées atteignent 100 m, l'écartement est maintenu par des tiges de fer munies à chaque extrémité d'un œillet de porcelaine par lequel passe le câble.

La canalisation centrale à courant continu est aussi aérienne, mais elle n'est que provisoire ; elle alimente un rayon de 1 500 m dans les directions où les sous-stations ne sont pas encore établies. Cette canalisation permet d'attendre que le réseau central soit assez développé pour qu'on puisse faire un projet d'ensemble durable de la canalisation souterraine définitive.

Dans un faubourg écarté où les applications de l'électricité nécessitaient une distribution à courant continu, on a fait l'installation suivante : des transformateurs avec réducteurs de spires ramènent le courant alternatif à la tension de 90 volts, puis ce courant est transformé en courant continu à 250 volts au moyen de commutatrices Alioth. Le courant de démarrage des commutatrices est fourni pas deux séries de 70 accumulateurs (distribution à trois fils) : en agissant sur le rhéostat de démarrage et sur celui d'excitation on règle la vitesse des commutatrices de façon que la fréquence soit la même que celle du courant alternatif provenant de l'usine. L'accouplement se fait alors facilement même si les phases sont un peu discordantes.

Il est évident qu'à aucun moment la production de l'électricité ne nécessite l'emploi de tous les moteurs. Il y a donc lieu d'étudier le rendement des différentes dynamos et de leurs groupements afin de savoir quelle est la combinaison la plus avantageuse pour obtenir une puissance déterminée.

A cet effet, on construit une courbe pour chaque machine et pour les différents grou-

pements de machines ; on porte en ordonnée (fig. 4) la puissance indiquée en kilowatt et en

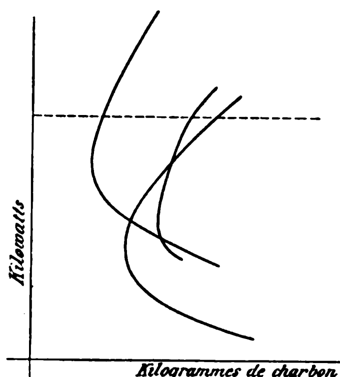


Fig. 4.

abscisse la quantité de charbon nécessaire pour cette puissance. En coupant ces courbes par une parallèle à l'axe des abscisses qui correspond à une puissance déterminée, on obtient différents points dont l'abscisse représente la quantité de charbon qu'il faut fournir à chaque système. Le point de moindre abscisse correspond au minimum de charbon nécessaire pour développer cette puissance, et la courbe à laquelle il appartient est celle de la machine la plus avantageuse dans le cas considéré.

Le meilleur rendement s'obtiendra donc en suivant les régions de ces courbes qui sont les plus voisines de l'axe des ordonnées. Les points de croisement indiquent que, pour la puissance correspondante, il est indifférent d'employer l'un ou l'autre des systèmes dont les courbes se coupent ; pour une puissance inférieure l'un des systèmes est préférable, c'est au contraire l'autre s'il s'agit d'une puissance supérieure.

D'autre part un wattmètre enregistreur donne la puissance utilisée à chaque instant. Connaissant les valeurs qui correspondent aux journées précédentes, on sait donc à chaque instant la puissance qu'il faut approximativement développer, et on peut régler la mise en marche des machines afin d'obtenir le fonctionnement le plus économique.

On a de cette manière de précieuses indications, mais on ne peut pas les suivre rigoureusement. Ainsi si une machine ne doit pas fonctionner longtemps, il n'y a pas intérêt à la mettre en marche à cause de la dépense de réchauffage. De même, quoique les courbes dont il a été question montrent que les machines Willans ne sont pas les plus économiques, ce sont elles pourtant que l'on met en marche dans le cas d'une augmentation brusque du débit, parce qu'elles se réchauffent plus rapidement et à moins de frais que les autres. Enfin il faut aussi tenir compte des proportions de courant continu et de courant alternatif qu'il y a à fournir.

De nombreux appareils enregisteurs permettent de se rendre compte du fonctionnement de l'usine à chaque instant, et par suite de s'apercevoir des anomalies qui peuvent se présenter.

Le *laboratoire de la station centrale* de Rouen a été installé pour répondre aux besoins suivants :

Vérification, entretien, réparation des compteurs ;

Réglage, nettoyage et entretien des lampes à arc de l'éclairage public ;

Mesure photométrique de l'intensité des lampes à incandescence et détermination de leur consommation ;

Réception des installations chez les abonnés, vérification de l'isolement, etc. ;

Mesures et essais en vue des différentes applicatious du courant électrique.

Le service des compteurs est des plus importants ; ces appareils doivent être vérifiés périodiquement, car le défaut de nettoyage et de graissage augmente l'inertie des mouvements, produit des retards dans les indications et peut même arrêter la marche du compteur pour les faibles débits. L'exemple suivant montre tout l'intérêt que présente le bon fonctionnement des compteurs. La vérification était faite tous les six mois, lorsqu'à la suite d'indications anormales la Société fit une vérification générale en quelques jours. Celle-ci mit en évidence une perte de 6 p. 100 environ, par suite du retard des appareils.

J. Reyval.

INSTALLATION A COURANTS DIPHASÉS DU LABORATOIRE DE L'ÉCOLE SPÉCIALE DE MONS [1]

VII. SELF-INDUCTION DE DÉMARRAGE POUR MOTEUR ASYNCHRONE A COURANT INDUCTEUR MONOPHASÉ. — La figure 10, à gauche, montre le moteur biphasé fonctionnant dans des conditions curieuses et intéressantes. Ayant été démarré à l'aide de deux courants décalés de 90° sur l'un desquels se trouve un ampèremètre à fil, visible entre le moteur et la génératrice, on a coupé l'un des circuits et la machine a continué à tourner en moteur asynchrone à courant inducteur monophasé; puis, reliant les deux bornes libres du second circuit inducteur à un cadre de lampes placé près de la muraille, on a obtenu de l'énergie électrique sous forme de lumière, le moteur faisant office de transformateur. Allant plus loin, on pourrait prendre de l'énergie mécanique (par courroie ou frein) et de l'énergie lumineuse sur le moteur.

Fig. 53 à 56. — Détail de la self-induction.

Nous nous servons aussi généralement de ce moteur pour étudier les propriétés des moteurs asynchrones monophasés. Nous démarrons alors à l'aide d'un courant monophasé sur lequel nous constituons deux dérivations reliées aux deux circuits inducteurs. Sur ces dérivations nous plaçons une self-induction ou une capacité. Ce sont ces deux genres d'appareils que nous allons décrire en fournissant quelques renseignements intéressants sur leurs constantes.

A. *Description de la self-induction.* — Les figures 53, 54, 55 et 56 donnent le détail de l'appareil. La figure 63 en fournit une vue extérieure en perspective.

Il se compose : d'une boite en fonte ouverte par le haut, prismatique, possédant

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 340, 21 août 1897, et t. XIII, p. 489 et 539, 9 octobre, 11 et 18 décembre.

quatre oreilles de fixation, des nervures et des mentonnets intérieurs maintenant en place un paquet de tôles en ⎵ isolées au papier dont les dimensions sont indiqués sur la figure (sa section est de 21,5 cm² et son développement de 45,5 cm) ; d'un noyau en tôles minces également isolées au papier de 20,5 cm² de section sur 30,4 cm de longueur, placé sur les branches de la culasse en ⎵, y maintenu par quatre prisonniers assurant de bons joints et entouré de la bobine inductrice ; d'une bobine de fil de 4,25 mm de diamètre nu, isolé, divisé en quatre sections reliées à cinq plots boulonnés sur un couvercle en marbre.

Les sections sont de 2, 1,1 et 3 couches de fil correspondant 97, 47, 46 et 132 spires. En reliant les deux extrémités du fil extérieur en *a* et *b*, en plaçant la manette successivement sur les plots *f*, *e*, *d*, *c* et *b* on met, en circuit 322, 190, 144, 97 et 0 spires et les résistances sont 0,181, 0,089, 0,071 et 0,053 ohm respectivement à 20, 28, 30 et 35°. La boîte G. est en fonte avec couvercle en marbre ; le circuit magnétique est en fer doux ; la bobine est calée au moyen de coins en bois ; la boîte, fermée, est remplie d'huile pour l'isolement.

B. — Données d'expériences. — Pour déterminer la valeur de la self-induction correspondant aux différentes sections et à différents courants, nous avons appliqué aux bornes de la self-induction des forces électromotrices variées de 60 à 105 volts à des fréquences également variées de 39 à 47,5 dont la moyenne est 43. Nous avons obtenu des courants de 50 à 15 ampères et des décalages du courant sur la force électromotrice appliquée allant de 88 à 90° C.

La formule appliquée est la suivante :

$$\frac{E}{I} = \text{Rapp} = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2_s}$$

Dans laquelle E est la force électromotrice appliquée, I le courant mesuré en ampères, R la résistance ohmique, ω la vitesse angulaire égale à 2 π fois la fréquence et L*s* le coefficient de self-induction cherché. Ce dernier est la seule inconnue de la formule. Les résultats sont indiqués complètement sur la figure 57.

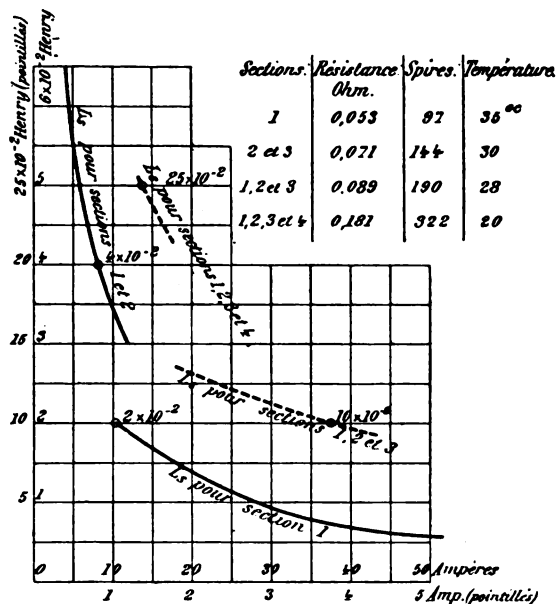


Fig. 57. — Données d'expérience relatives à la self-induction

Section n° 1.

97 spires, L*s* varie entre 0,58 et $1{,}92 \times 10^{-2} =$ 0,0058 à 0,0192 henry pour 50 à 11,6 ampères efficaces ou 83 à 59 volts efficaces.

Section nos 1 et 2 (plots b et d).

144 spires, $Ls = 3{,}15$ à $6{,}45 \times 10^{-2}$ henry pour 11 à 4 ampères efficaces ou 96 à 69 volts efficaces.

Sections nos 1, 2 et 3 (plots b et e).

190 spires, $Ls = 9{,}45$ à $12{,}3 \times 10^{-2}$ henry pour 4 à 2,3 ampères efficaces ou 105 à 72 volts efficaces.

Sections nos 1, 2, 3 et 4 (plots b et f),

322 spires, $Ls = 24 \times 10^{-2} = 0{,}24$ henry pour 1,5 ampère efficace ou 94 volts efficaces environ.

VIII. — Condensateurs voltamétriques de démarrage pour moteur asynchrone monophasé.

A. Description. — Nous possédons deux de ces appareils généralement reliés en quan-

tité. Ils sont détaillés aux figures 58 à 61 et photographiés à la figure 63.

Ils se composent :

D'une caisse en bois, à couvercle également en bois, placé dans une autre caisse en tôle avec interposition de résine entre les deux ;

De 91 tôles de $\frac{160 \times 110}{0.5}$ mm isolées l'une de l'autre par de petits cavaliers en fibre et maintenues par des réglettes *m* en bois dont l'une *n* possède une rigole dans laquelle se verse le liquide par une ouverture spéciale du couvercle.

Deux prises de courant sont faites à la première et à la nonante-unième plaques et réunies en quantité à l'une des bornes *l*. Une autre prise est faite à la quarante-cinquième plaque et elle communique avec la seconde borne *l*.

Fig. 58 à 61. — Détail des condensateurs voltamétriques.

Les connexions des deux condensateurs pour le montage en quantité sont représentées à la figure 61.

On voit que le voltage entre deux plaques est :

$$\frac{E}{45} \text{ volts.}$$

Le liquide employé est une solution de *carbonate de soude*.

B. — Données d'expériences. — Les résultats qui vont suivre proviennent d'expériences faites dans les mêmes conditions que celles relatives à la self-induction, c'est-à-dire en appliquant aux bornes une différence de potentiel donnée et en mesurant le courant, la résistance ohmique et la fréquence.

La formule applicable est celle-ci :

$$\frac{E}{I} = \text{Rapp} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} .$$

Les condensateurs sont marqués, l'un A, l'autre B. La densité du liquide et la résistance étaient différentes pour A et B au commencement des expériences. Les valeurs sont indiquées sur la figure 62.

Les courbes (1) et (2) de la même figure donnent la variation de température de B seul et de A et B connectés en dérivation.

Ces courbes sont tracées en fonction des courants totaux circulant dans les condensateurs. La première s'élève plus vite parce que les expériences correspondantes ont duré plus longtemps. La température a varié de 19 à 60° C. pour 0 à 80 ampères efficaces. Les courbes 3 et 4 fournissent les résistances en fonction des températures. On voit que la résistance de B varie de 0,85 à 0,43 ohm lorsque la température monte de 19 à 60° C. et que celle de A + B va de 0,40 à 0,28 ohm pour 19 à 30° C.

Le tracé 5 indique la capacité en farad pour le condensateur B lorsque le courant monte de 20 à 70 ampères efficaces et la température de 25 à 65° C. Cette capacité va de 0,75 à 1,6 $\times 10^{-2}$ ou 0,0075 à 0,016 farad.

Les tracés 6 et 7 donnent 0,018 à 0,0215 farad pour capacité de A + B quand le courant monte de 45 à 80 ampères efficaces et la température de 23 à 28° C.

Le voltage des expériences a été de 19 à 37 volts efficaces pour B seul et 6 à 28 pour A + B. La fréquence était de 33 à 40 et le

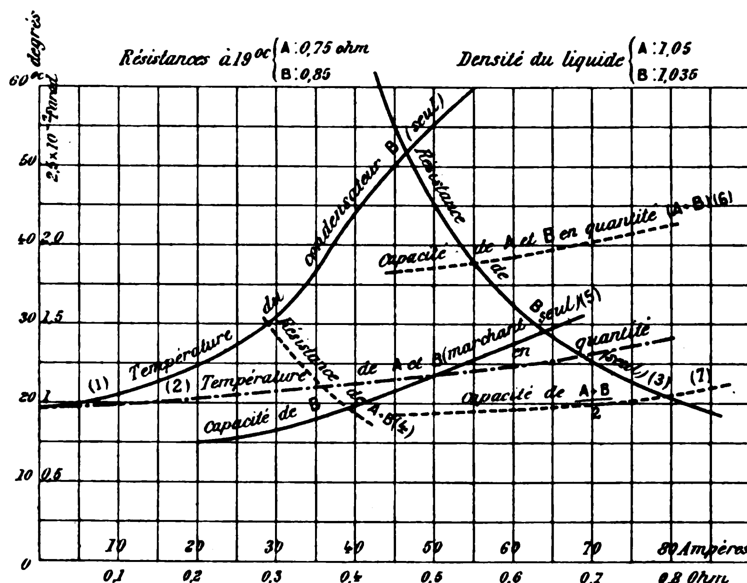


Fig. 62. — Données d'expériences relatives aux condensateurs voltamétriques.

décalage du courant sur la force électromotrice appliquée de 30 à 40° environ.

Remarque. — La figure 63 représente un groupe des appareils précédents formé de la génératrice bipolaire, d'un transformateur, de la self-induction et des capacités.

S. Hanappe.

Addenda au § V

Remarque I. — *Calcul de la self-induction de dispersion des transformateurs* (fig. 29). — Pour appliquer complètement la méthode de Kapp, nous avons considéré deux flux de dispersion et deux coefficients de self-induction de dispersion. Il est évident cependant qu'il n'existe qu'un seul flux de dispersion, celui dû au primaire. Les lignes de force 3 — 1 de la figure 29 ne peuvent pas en effet se refermer dans le noyau, en sens contraire des lignes de force principales 1′ — 2′. La force magnétomotrice du primaire l'emporte sur la force magnéto-motrice du secondaire, et le flux, dans l'air ou dans le fer, ne change pas de sens dans tout l'intérieur de la bobine primaire (extérieure). Les lignes de force principales sont donc 1′ — 2′ et les lignes de force de dispersion 3 ou 3′ — 2′.

Quant à la section du flux de perte à consi-

dérer, on peut l'établir comme suit : entre le noyau et le secondaire *a d*, les forces magnéto-motrices opposées donnent une résultante inappréciable et la dérivation est peu importante ; dans l'épaisseur du secondaire, la force magnéto-motrice résultante varie de o à un maximum (valeur entre les enroulements), et l'on peut admettre qu'elle est uniformément égale à ce dernier mais que l'épaisseur de l'enroulement est réduite de moitié ; entre les deux bobines, la force magnéto-motrice de dispersion est maximum ; enfin, dans l'épaisseur du primaire, la force magnéto-motrice varie uniformément du maximum à zéro, et, pour admettre que la force magnéto-motrice est constante et que toutes les spires

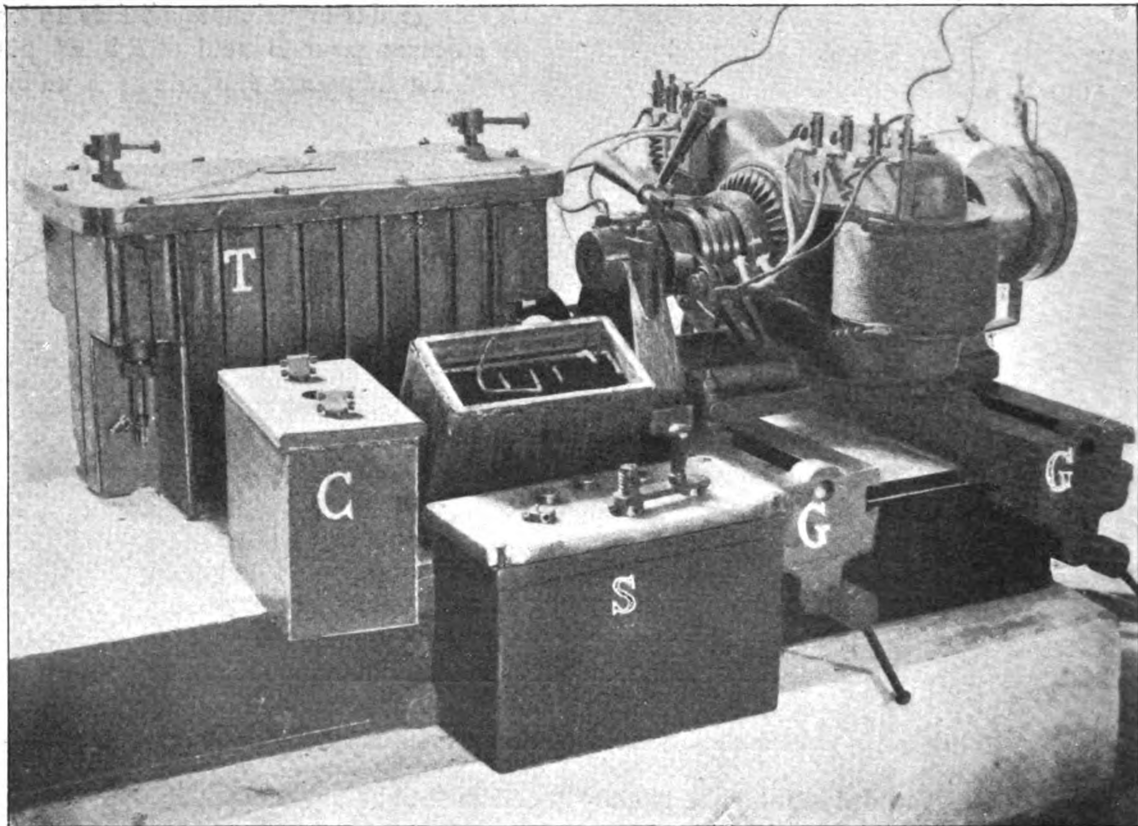


Fig. 63. — Groupe d'appareils de l'installation à courants diphasés.

sont traversées par le flux, il faut réduire l'épaisseur aux trois quarts et admettre que le flux de perte passe dans le quart intérieur.

La section totale du flux φ_1 de perte calculé à l'aide de la force magnéto-motrice maximum est donc celle indiquée sur la figure 29 augmentée de celle qui correspond à un nouveau quart de l'épaisseur de l'enroulement du secondaire. Nous avons en effet réduit cette épaisseur de un quart seulement au lieu de moitié, sur la figure 29. La section totale devient ainsi 126 cm² au lieu de 106.

Pour évaluer la réluctance du circuit de perte, nous avions compté approximativement sur une longueur de 40,5 cm., celle de l'écartement des branches de la carcasse en fer doux. Pour plus d'exactitude, admettons que le retour du flux se fait par la culasse et évaluons la longueur moyenne des lignes de force qui vont de l'espace annulaire, entre les bobines, à la culasse. Elle est de 11,2 cm

environ. Négligeons la réluctance de la culasse.

La réluctance au flux φ_1 est :

$$R = \frac{l}{s} = \frac{40{,}5 + 11{,}2}{126} = 0{,}446$$

et le flux

$$\varphi_1 = \frac{2 \times 4\pi n_2 I_2}{10 \times 0{,}446} = \frac{2 \times 1{,}256 \times 156 \times 35}{0{,}446} = 30\,800.$$

Nous avons admis que les forces magnétomotrices s'ajoutent entre les enroulements et que la résultante est double de celle du secondaire donnée par le courant normal I_2.

La force électromotrice de dispersion du primaire $\left(\text{pour } \frac{n_2}{n_1} = 1\right)$ est ainsi :

$$E_{s_1} = \omega n \varphi = 208 \times 156 \times 30800 \times 10^{-8} = 10 \text{ volts}.$$

Le secondaire étant en court-circuit, on devait donc trouver 20 volts au primaire $\left(\frac{n_2}{n_1} = 1\right)$ pour 19,8 que l'expérience a donné.

Le flux φ_1 coupant le secondaire, y crée aussi une force électromotrice de même sens que celle du primaire, qu'on peut évaluer en ayant égard à l'épaisseur du flux dans le secondaire relativement à l'épaisseur totale de φ_1 et aussi à ce que, en moyenne, la moitié seulement des spires secondaires sont balayées par la portion des lignes de force considérées.

$$E_{s_2} = 208 \times 156 \times 30800 \times \frac{9{,}5}{25{,}25} \times \frac{1}{2} = 1{,}88 \text{ volt}$$

Le tracé de Kapp de la figure 25 serait donc tel que BD représente $10 \times 2 = 20$ volts (pour les deux transformateurs) et que OB soit reculé jusqu'à un point C de BD pour lequel $BC = 1{,}88 \times 2 = 3{,}8$ volts.

REMARQUE II. — *Chute de tension dans les transformateurs. Application de la méthode de Bedell, Chandler et Sherwood.* — Les articles de M. Guilbert dans *L'Eclairage Électrique* et de M. Aliamet dans *L'Électricien*, nous ayant remis en mémoire le travail de MM. Bedell, Chandler et Serwood, nous nous empressons de l'appliquer à nos transformateurs *réunis en série*. Nous n'avons pu le faire plus tôt parce que notre texte du n° 50 du journal était chez l'éditeur.

La nouvelle méthode tient simplement compte, en plus que celle de Kapp, du décalage théorique des courants I_1 et I_2. Elle est expliquée sur la figure 1 et appliquée au cas de deux transformateurs, élévateur et réducteur de tension, réunis en série.

OAB est le graphique des forces électromotrices à circuit secondaire ouvert et tension constante E_1 ; $AB = \omega L_1 I_1$ est sensiblement E_1 ; OA est la force électromotrice effective $R_1 I_0$ dans laquelle I_0 est le courant primaire à secondaire ouvert.

A secondaire fermé, et courant normal I_2, la force électro motrice de self-induction CD est $\omega_1 L_1 I_1$. Le coefficient L_1 est sensiblement constant sous E_1 invariable et

$$CD = AB \frac{I_1}{I_0} = \text{environ } E_1 \frac{I_1}{I_0}.$$

GF est la force électro motrice de self-induction de dispersion et CF la force électromotrice due au flux réel Φ_1 du premier transformateur, ou la résultante des forces électro motrices de self et d'induction mutuelle CD et FD. La perte ohmique $R_1 I_1$ dans le primaire est faible et CF est *approximativement* égal à E_1, ce qui permet d'écrire, par suite de la similitude des triangles CDF et CFH :

$$\frac{FH}{FC} = \frac{FC}{CD}$$

$$FH = \frac{E_1^2}{E_1 \frac{I_1}{I_0}} = E_1 \frac{I_1}{I_0}, \textit{ approximativement.}$$

Si on suppose le coefficient de transformation $\frac{n_2}{n_1} = 1$ pour exécuter l'épure, CF est aussi la force électromotrice d'induction dans le secondaire.

Ce qui précède permet d'exécuter dans la partie inférieure de la figure 1 un tracé analogue à celui de Kapp : $AH' = CH$ et a la direction de CH ou de I_1, $H'F' = FH = E_1 \frac{I_0}{I_1}$, $OF' = CF$, $F'G' = GF$ est la force électromotrice mesurée à circuit secondaire en court-circuit (Kapp), $G'C' = R_1 I_1 = AC$ et $F'K = R_2 I_2$; enfin, $OK = E_2 =$ la

force électromotrice aux bornes du secondaire.

Complétons la figure par ce qui concerne le second transformateur.

Le courant primaire I_1' du second transformateur est dirigé suivant OH″ et H″ F″ $= 2\ E_1 \frac{I_0}{I_1}$, C′ G″ $= R_2\ I_1$ et OG″ est la force électromotrice totale du secondaire du deuxième appareil, G″ L = F′ G′ et LM $= R_1\ I'_1$; enfin, OM est la force électromotrice constante appliquée au primaire. G″ L est normal à OH″ et F′ G′ à OH′.

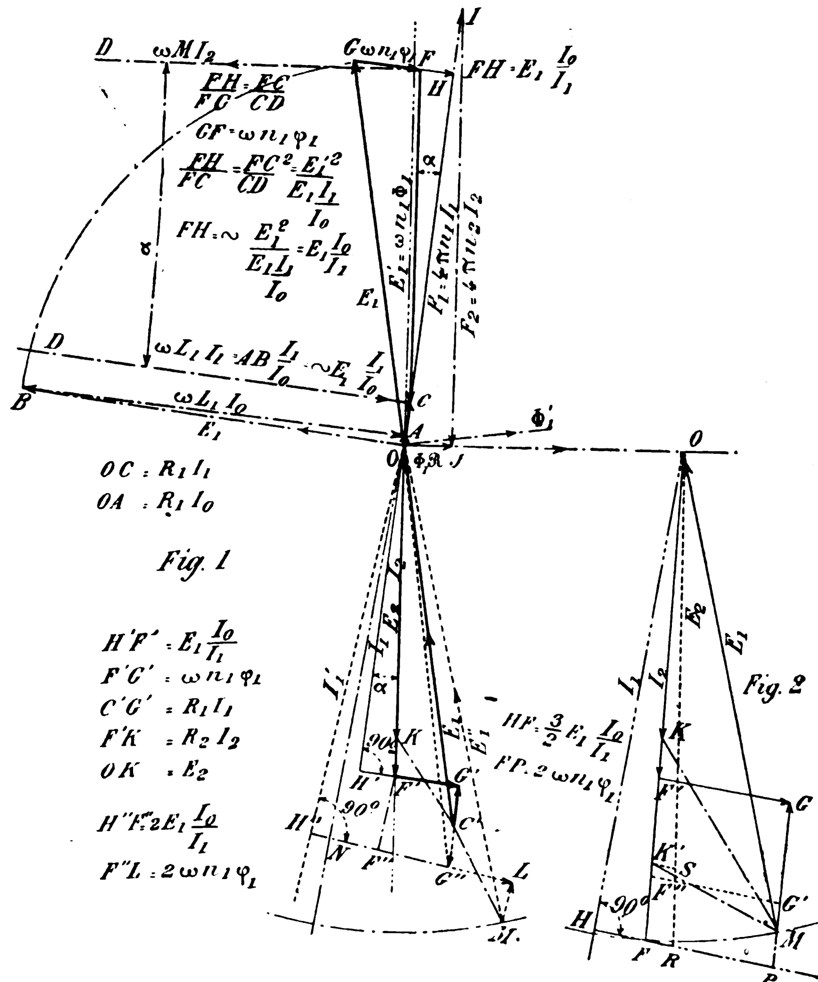


Fig. 1 et 2.

Plusieurs approximations sont déjà utilisées pour ce tracé. Nous en proposons une nouvelle qui ne pourra fausser sensiblement les résultats et qui aura pour avantage de donner lieu à un graphique semblable à celui que M. Kapp emploie lorsque le secondaire fonctionne sur une résistance inductive.

Nous remplaçons le polygone KF′G′C′G″LM par le polygone KF′GM de la figure 2. F′G est perpendiculaire à une ligne OH (fig. 2) ou ON (fig. 1) moyenne entre OH″ et OH′ auxquelles F′G′ et G″L sont normales, GM est parallèle à la même droite et remplace G′G″ et LM respectivement parallèles à OH′ et OH″; bref nous supposons un seul transformateur pour lequel :

$$HF = \frac{3}{2}\ E_1 \frac{I_0}{I_1},$$

$$F'Gr = 2\omega n_1 \varphi_1,$$

$$F'K = R_2 I_2 \text{ et}$$

$$GrM = R_1 I_1 + R_2 I_1 + R_1 I'_1.$$

A une échelle assez pratique (vraie), le tracé devient K'F''G'M et on voit par la figure que l'approximation nouvelle ne peut pas changer beaucoup les résultats.

Les côtés de K'F''G'M étant proportionnels aux courants et HF étant une constante, on voit que :

1° La figure K'F''G'M reste sensiblement semblable à elle-même pour les différents régimes ;

2° FP peut servir d'échelle des courants débités par le secondaire du dernier transformateur, ce qui facilitera la détermination des éléments de fonctionnement aux divers régimes ;

3° L'angle HOF d'avance sur la verticale fait tomber le voltage aux bornes du secondaire dans une proportion plus forte que s'il n'existait pas.

L'application de cette méthode aux deux transformateurs de l'École de Mons a donné les résultats suivants :

$$I_0 = 1{,}9 \text{ A.}, \quad I_1 = 35 \text{ A.}, \quad E_1 = 70 \text{ v.}$$

$$HF = \frac{3}{2} 70 \times \frac{1{,}9}{35} = 5{,}8 \text{ volts},$$

$$FP = 20 \text{ volts},$$

$$K'F'' = 1{,}3 \text{ volt}, \; G'M = 5{,}7, \; K'F'' + G'M = 7 \text{ volts}.$$

Quant aux chiffres du voltage aux bornes du secondaire, ils concordent presque parfaitement avec ceux de la courbe 3 de la figure 24 levée expérimentalement. *L'approximation paraît devoir être toujours assez grande* et il reste à vérifier intelligemment la méthode sur de nombreux appareils placés dans des conditions pratiques.

REMARQUE III. — *Chute de tension dans les transformateurs. Correction aux méthodes de Kapp et de Bedell-Chandler-Sherwood.* — Comme nous venons de le voir, la méthode de Bedell nous a donné de bons résultats. Il faudrait malgré cela la vérifier sur d'autres transformateurs en exécutant les tracés à grande échelle, comme des épures de machines à vapeur. Cette méthode n'est pas encore cependant tout à fait exacte d'après les vues exposées dans notre première remarque. Il existerait en effet dans le secondaire une force électromotrice normale à I_1 (OH, fig. 2), due à la dispersion et que nous avons évaluée à 3,8 volts, FP restant la force électromotrice du primaire et étant toujours de 20 volts. FR est cette force électromotrice qui varie naturellement comme FP avec le courant débité. La force électromotrice aux bornes est alors OS au lieu de OK'.

On voit que ce tracé est plus compliqué que le précédent parce que OL se déplace pour chaque débit, mais il est plus exact, au moins théoriquement parlant.

Une difficulté de l'application consiste dans la séparation de E_{s_2} et E_{s_1} ou de FR et FP, car le levé de Kapp ne donne que FP.

L'application nous a donné également de bons résultats.

S. HANAPPE.

REVUE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

La locomotive Patton [1]

Dans un de nos derniers numéros nous donnions une courte description, accompagnée d'une photographie, du tramway électrique autogénérateur de M. Patton [2]. Rappelons que dans ce tramway, comme dans la locomotive Heilmann, la puissance motrice est fournie par un moteur thermique, dans l'espèce un moteur à essence, actionnant une dynamo dont le courant met en mouvement un moteur électrique calé sur l'essieu de la voiture ; une batterie d'accumulateurs placée en dérivation assure, dans le système Patton,

(1) *The Electrician*, 17 décembre 1897, t. XL, p. 269.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XIII, p. 312, 13 novembre 1897.

l'élasticité nécessaire à l'exploitation, lors des démarrages, des montées, etc.

Notre confrère, *The Electrician*, nous fournit dans son dernier numéro quelques renseignements intéressants sur la genèse et le développement de ce système en Amérique.

C'est à l'occasion de travaux aériens le long des voies du chemin de fer de banlieue de Chicago que fut construite la première voiture de ce système; elle était destinée à traîner de place en place la voiture à tourelle servant à ces travaux; la dépense journalière, charbon et main-d'œuvre comprise, était d'environ 65 fr. Plus tard une nouvelle voiture de plus grande puissance fut équipée: le moteur avait une puissance de 18 chevaux, la dynamo était de 12 chevaux, le moteur électrique de 35, la capacité de la batterie était de 92 à 150 ampères-heure; le poids total de la voiture était de 11 tonnes; la dépense journalière s'abaissa alors à 15,70 fr; de plus, l'effort maximum de traction que l'on put atteindre, dépassa de beaucoup la valeur que l'on espérait.

Encouragée par ces résultats, la compagnie fit construire une véritable locomotive, plus puissante et étudiée avec plus de soin que les voitures précédentes. Cette nouvelle automobile est constituée par un wagon ordinaire à voyageurs de 5,5 m de long. Entre les roues est placé un châssis spécial reposant sur des cales en caoutchouc et supportant la machinerie. Celle-ci se compose: d'un moteur vertical Raymond à essence, à 2 cylindres, de 25 chevaux, faisant 300 tours par minute; d'une dynamo Crocker-Wheeler à 6 pôles, de 15 kilowatts, donnant 220 volts; d'une batterie d'une centaine d'éléments de 200 ampères-heure de capacité; et d'un moteur de 35 chevaux relié à un contrôleur ordinaire du système série-parallèle. Un récipient de 120 litres contient la gazoline servant à l'alimentation du moteur thermique; deux autres récipients de 360 litres contiennent l'eau nécessaire au refroidissement. Cette automobile fonctionne sur les voies du chemin de fer à vapeur de Chicago depuis quelque temps déjà et son service a donné jusqu'ici toute satisfaction. J. R.

La traction électrique sur les grandes lignes de chemins de fer;

Par George Forbes (1).

Cette étude du savant ingénieur anglais, dont le nom reste attaché à la grandiose utilisation des chutes du Niagara, est surtout consacrée à des considérations générales de nature à convaincre les hommes d'affaires et les financiers intéressés dans l'industrie des chemins de fer, de la possibilité de cet ordre d'applications électriques. Elle ne contient donc aucun fait nouveau, mais elle mérite de fixer l'attention des électriciens par les opinions hardies que l'auteur y émet comme « les résultats d'une étude consciencieuse et désintéressée et de longs calculs ».

Après avoir rappelé le développement que la traction électrique des voitures de tramways a pris aux États-Unis, si rapide qu'à la fin de l'année 1895, sept ans environ après les premières applications industrielles, le capital engagé était de 7 milliards de francs, et après avoir déclaré qu'à son sens les applications aux grandes lignes de chemins de fer offrent un champ plus vaste encore, il décrit les principales lignes de chemins de fer à traction électrique réalisées à l'heure actuelle, afin de prouver la souplesse des procédés électriques; puis il envisage les différentes applications possibles.

I. « Il y a eu, dit-il, une hésitation absurde à entreprendre la transmission de l'énergie électrique à grandes distances. Si les ingénieurs qui ont l'expérience des transports d'énergie et de la transformation des courants alternatifs en courants continus voulaient approfondir cette question, ils seraient convaincus que partout où une force motrice hydraulique est disponible, *il est généralement*

(1) *The Engineering Magazine*, octobre 1897, p. 1.

économique de transmettre la puissance électrique à des centaines de milles (le mille est de 1 609 m), pour actionner des trains de chemins de fer. A titre d'exemple, on peut prouver que, si les compagnies de chemins de fer, en Écosse, voulaient s'associer pour exploiter leurs grandes lignes électriquement, en engendrant le courant électrique par les chutes d'eau qui existent dans ce pays, elles pourraient supprimer toutes les locomotives à vapeur en service à l'heure actuelle.

» Une autre leçon à tirer d'une étude consciencieuse du sujet, c'est que la perte de charbon sur les locomotives à vapeur n'est pas compensée, il s'en faut, par le prix d'installation des lignes de transmission électrique et la perte d'énergie dans ces lignes. Des devis ont été préparés qui tendent à prouver que non seulement le prix du cuivre est prohibitif, mais que le rendement des systèmes électriques rend la consommation de charbon avec les machines fixes aussi élevée qu'avec des locomotives. Ces calculs ne sont certainement pas exacts. Le prix de la transmission électrique, lorsque celle-ci est faite rationnellement, n'est pas comparable à ce qui a été calculé en se basant sur les lignes adoptées dans le passé. Et, d'un autre côté, le rendement des dynamos et des moteurs n'a pas été suffisamment considéré dans la pratique des tramways, aux États-Unis. Le succès du chemin de fer élevé de Liverpool est dû, en très grande partie, au rendement excellent du matériel électrique.

» Il n'y a pas d'exemple de grande ligne exploitée électriquement; mais, d'après les exemples cités, on peut admettre comme complètement établi que cela n'est pas dû à une incapacité de la locomotive électrique. La raison est que, à tort ou à raison, ceux qui ont étudié la question ont considéré que les dépenses entraînées par la transmission électrique sont trop grandes. »

L'auteur pense le contraire; la transmission se ferait par courants alternatifs à haut voltage qui, pour la distribution, seraient transformés en courants continus à plus basse tension par des transformateurs tournants. Ces derniers appareils sont les plus imparfaits; sous leur forme actuelle, ils sont coûteux, encombrants et exigent une surveillance continuelle, en sorte qu'ils seraient onéreux à mettre en service, sur une longue ligne, à intervalles rapprochés. Cependant, M. Forbes déclare avoir inventé un appareil pour transformer les courants alternatifs en courants continus qui est à l'abri de tous ces défauts et qui peut être fabriqué à bas prix. Dans ces conditions, avec l'adoption des très hautes tensions, « le prix de la transmission n'est pas du tout aussi important qu'on se l'imagine; mais, en dépit de ce fait, l'inertie humaine peut empêcher les rapides progrès dans cette voie.

» Après une longue expérience et une laborieuse étude de l'ensemble du sujet, l'opinion de l'auteur est que, en règle générale, les locomotives électriques, alimentées par du courant engendré dans des usines à vapeur, si l'exploitation était conduite rationnellement, seraient plus économiques que les locomotives à vapeur jusqu'à une distance de 60 à 80 km de l'usine génératrice. Si l'énergie électrique pouvait être engendrée dans une usine hydraulique, la distance à laquelle la locomotive à vapeur commencerait à être moins coûteuse serait de plusieurs centaines de milles, sur une ligne à circulation active. Ces conclusions résultent de calculs faits en admettant que le charbon coûte environ 8,50 fr la tonne métrique. Cette économie résulte du fait bien connu que, dans les meilleurs essais de locomotives, 2,25 kg de charbon sont dépensés par cheval-heure et que, dans la pratique courante, ces bons résultats sont rarement atteints, mais que, dans la plupart des cas, la consommation de charbon est plusieurs fois aussi élevée. Ces conclusions, cependant, ne sont pas un encouragement à opérer la substitution de l'électricité à la vapeur, sauf dans certains cas spéciaux. »

II. Si maintenant on envisage la construction et l'exploitation de lignes entièrement

nouvelles, dans lesquelles les voies et le matériel pourraient être construits spécialement, la question change de face, car l'électricité offre un avantage considérable en ce qu'elle permet de supprimer la locomotive et de munir d'un moteur chaque essieu de toutes les voitures d'un train. Le poids total à remorquer serait ainsi très réduit; l'adhérence ne dépendant plus du poids seul de la locomotive, la charge par essieu serait de beaucoup diminuée; il en résulterait une moindre fatigue et une moindre usure des voies, une diminution des chocs aux voyageurs et aux marchandises et une plus grande facilité pour les passages en courbes; les roues ne patineraient pas, même en remontant de fortes rampes et les mises en vitesse se feraient en un temps très court. La construction des voies pourrait être ainsi rendue beaucoup moins coûteuse.

La traction électrique sur les grandes lignes ne pourrait donc être appliquée avec *tous* les avantages qu'elle est susceptible de donner que sur des voies nouvelles.

III. Pour les lignes de banlieue, la question de prix de revient, dans les limites étroites où se trouvent compris les écarts entre l'électricité et la vapeur, est négligeable; elle disparaît devant la possibilité donnée par l'électricité de faire des départs plus fréquents, ce qui permet aux chemins de fer de lutter plus avantageusement contre les tramways électriques; on sait que plusieurs compagnies de chemins de fer ont dû supprimer des lignes dont le trafic avait été réduit à néant par la concurrence des tramways électriques.

IV. Lorsque des voies ferrées doivent traverser de grands espaces déserts où l'alimentation en eau et en charbon est difficile, l'emploi de l'électricité s'impose. M. Forbes signale en particulier les chemins de fer militaires du Haut-Nil : lorsque les 250 premiers kilomètres de voies furent posés dans le désert, chaque train transportant les rails et les traverses devait être accompagné de 3 ou 4 trains transportant le charbon et l'eau pour alimenter les locomotives. Pareille difficulté ne se serait pas présentée avec la traction électrique.

V. Enfin, dans les chemins de fer souterrains, dans les tunnels, des considérations hygiéniques imposent l'emploi de l'électricité.

En résumé, les conclusions à tirer de cette étude, « poursuivie pendant de nombreuses années », sont les suivantes, en ce qui concerne les grandes lignes seulement :

« I. Lorsqu'une force motrice hydraulique suffisante est disponible dans un rayon de quelques centaines de milles d'une grande ligne de chemin de fer, il est probable que l'on aurait économie à adopter la traction électrique.

« II. Avec un réseau indépendant de chemins de fer, construit dans un pays neuf, où la traction à vapeur n'existe pas encore, on pourrait munir chaque essieu d'un moteur et dans ces conditions il serait économique en construction et en exploitation d'employer l'électricité de préférence à la vapeur.

« III. Pour les chemins de fer construits dans des déserts où l'eau ne peut être facilement obtenue, la traction électrique est éminemment propice. »

G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Le problème de la distribution de l'électricité et le problème de C. Neumann;

Par M. W. STEKLOFF (1).

« Si je ne me trompe, l'existence de la densité d'une couche superficielle sans action sur un point intérieur n'est démontrée jusqu'à présent, que dans quelques cas particuliers.

» Dans cette Note, nous allons indiquer la solution de ce problème intéressant et, en même temps, la solution du problème de C.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXV, p. 1026, séance du 13 décembre.

Neumann pour les surfaces convexes (S) ayant la courbure finie et déterminée.

» Désignons par r la distance du point s sur (S) au point M, par ds l'élément de la surface (S), par n la normale extérieure à cette surface. Soit ρ_0 une fonction quelconque finie et continue sur (S). En entendant par $\frac{\partial V_k}{\partial n}$ la valeur de cette fonction sur (S), formons la suite d'intégrales

$$V_1 = -\frac{1}{2\pi}\int \rho_0 \frac{1}{r}\,ds,\quad V_k = -\frac{1}{2\pi}\int \rho_{k-1}\frac{1}{r}\,ds, \tag{1}$$

où

$$\rho_{k-1} = \frac{\partial V_{k-1}}{\partial n} \qquad (k = 2, 3, \ldots).$$

» V_k sont les fonctions du point M. Supposons que M est un point de la surface (S). Désignons par ψ l'angle fait avec la normale n au point M par la droite $\overline{sM}$, par φ l'angle fait par $\overline{Ms}$ avec la normale n au point s. On aura

$$\rho_k = \frac{1}{2\pi}\int \rho_{k-1}\frac{\cos\psi}{r^2}\,ds \quad (k = 1, 2, 3 \ldots). \tag{2}$$

» Soit ν_k le module de V_k. Si ρ_0 est une fonction positive, on a

$$\nu_k = \frac{1}{2\pi}\int \nu_{k-1}\frac{\cos\varphi}{r^2}\,ds.$$

» Par conséquent,

$$M_k < M_{k-1},\quad m_k > m_{k-1}. \tag{3}$$

M_k et m_k étant le maximum et le minimum de ν_k, et

$$\lim V_k = \text{const.} \tag{4}$$

Supposons que la courbure de la surface (S) est finie et différente de zéro. On peut assigner une limite supérieure D_1 et une limite inférieure D_0 du rapport $\frac{r}{\cos\psi}$. Soit en particulier $\rho_0 = 1$. Désignons la valeur correspondante de V_k par K_k, la valeur de ρ_k par I_k. Soient M_k^0 et m_k^0 le maximum et le minimum de $|K_k|$. On peut démontrer sans peine que

$$\frac{m_k^0}{D_1} \leqq I_k \leqq \frac{M_k^0}{D_0}. \tag{5}$$

» En employant les notations ordinaires (voir E. Picard, *Traité d'Analyse*, t. I, p. 155), nous tirerons des égalités (2) à l'aide de la méthode de moyenne arithmétique de C. Neumann.

$$N_k - n_k \leqq (N_{k-1} - n_{k-1})\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{I^{\beta}_{sk}}{I_{sk}} + \frac{I^{\alpha}_{s'k}}{I_{s'k}}\right)\right]$$
$$= (N_{k-1} - n_{k-1})(1 - \tau_k),$$

N_k et n_k étant le maximum et le minimum du rapport $\frac{\rho_k}{I_k}$.

» En tenant compte des inégalités (3) et (5), on peut démontrer que

$$\tau_k > Q\frac{D_0^2 l}{2 D_1^2 L^2} = \mu \cdot (\mu < 1),$$

l et L étant le minimum et le maximum de $\int \frac{ds}{r}$, Q le minimum de la somme

$$\int_\alpha \frac{ds}{r_1} + \int_\beta \frac{ds}{r}.$$

» Par suite

$$N_k - n_k \leqq (M_0 - m_0)(1 - \mu)^k = (M_0 - m_0)\,\lambda^k (\lambda - \leqq 1).$$

» 1. Supposons que ρ_0 satisfait à la condition

$$\int \rho_0 ds = 0.$$

On a pour toute valeur de k [inégalités (3) et (5)].

$$|\rho_k| \leqq (M_0 - m_0)\,I_k\,\lambda^k \leqq (M_0 - m_0)\frac{M_1}{D_0}\lambda^k.$$

» Donc *la série* $\sum_{k=p}^{\infty} \rho_k$ *converge absolument et uniformément sur* (S).

» D'après cela formons la fonction

$$V = \frac{1}{2\pi}\int (\lambda\rho_0 + \lambda^2\rho_1 + \ldots + \lambda^{k+1}\rho_k + \ldots)\frac{1}{r}\,ds,$$

λ étant une constante dont le module est inférieur ou au plus égal à l'unité.

» *En posant* $\lambda = 1$, *nous obtiendrons la solution du problème intérieur de C. Neumann; en posant* $\lambda = -1$, *la solution du problème extérieur.*

» 2. Supposons maintenant que ρ_0 est toujours positif sur (S). On a

$$\rho'_k = \frac{1}{2\pi}\int \rho'_{k-1} \frac{\cos\psi}{r^2} ds, \quad \rho'_{k-1} = \rho_k - \rho_{k-1}.$$

» D'après ce que nous avons déjà expliqué, on peut affirmer que la série $\sum_{k=1}^{\infty} \rho'_k$ converge absolument et uniformément sur (S).

» *Donc* ρ_k *tend vers une limite* ρ ($\rho > 0$).

» En tenant compte des égalités (1) et en passant à la limite, nous aurons [d'après (4)]

$$\int \frac{\rho}{r} ds = \text{const.}$$

» Par conséquent $\rho = \lim \rho_k$ *est la densité d'une couche superficielle sans action sur un point intérieur.*

» Le problème de la distribution de l'électricité et en même temps le problème de C. Neumann, est donc résolu pour toutes les surfaces convexes avec la courbure finie et différente de zéro. Mais cette dernière restriction n'a rien d'essentiel.

» Les résultats obtenus seront encore vrais quand la surface (S) contient un nombre fini de portions planes et l'aire des portions, où la courbure est différente de zéro, n'est pas égale à zéro. »

Chaleur développée dans le fer par l'hystérésis ;

Par F.-A. Weihe [1].

La bobine magnétisante entoure un calorimètre à glace de Bunsen ; elle est elle-même plongée dans la glace ; le faisceau de fils de fer sur lequel portent les mesures est placé dans le réservoir intérieur du calorimètre. On fait passer d'abord le courant dans la bobine pendant une heure environ et on vérifie que le passage du courant ne modifie pas la position du mercure dans le calorimètre : cette vérification est répétée plusieurs fois dans le cours d'une expérience. Ensuite on introduit le faisceau de fil de fer, refroidi aux environs de 0°, dans le réservoir, et on lance le courant dans la bobine, pendant une demi-heure ; le déplacement du mercure fait connaître la quantité de chaleur cherchée.

Le courant employé est celui d'une machine de Siemens à huit pôles. On trace tout d'abord la courbe de courant de cette machine de la manière suivante. L'arbre porte en prolongement un cylindre de bois sur lequel est fixée une bande de cuivre *c*, dont une des extrémités est large, l'autre étroite. Deux lames de laiton, faisant légèrement ressort frottent, l'une *l'* sur la partie large, l'autre *l* sur la partie étroite ; ces deux lames sont fixées sur une planchette qui peut être levée ou abaissée, de façon à changer l'époque de la révolution de l'arbre à laquelle la lame *l* frotte sur la bande *c*. Pendant que la lame frotte sur la bande, les deux lames *l* et *l'* sont en communication métallique ; un circuit dérivé, aboutissant à deux points *a* et *b* du circuit de la machine et renfermant un potentiomètre, se trouve fermé : et par le potentiomètre on connaît la différence de potentiel qui existe, à cette phase de la révolution, entre les points *a* et *b*. En modifiant la position des lames *l* et *l'*, on peut répéter cette détermination pour différentes époques de la révolution et construire la courbe de la machine.

M. Weihe a déterminé d'abord, pour les trois échantillons qu'il a étudiés, les courbes d'hystérésis (au moyen du magnétomètre) : ces courbes se composent de portions de droite.

Pour le fer, la chaleur mesurée est environ 80 p. 100 de celle qu'on calculerait d'après les courbes d'hystérésis ; pour l'acier, elle est environ les 75 p. 100 ; ces chiffres se rapportent aux expériences faites avec 55 alternances par seconde et une intensité moyenne d'aimantation maximum de 260 unités pour le fer et de 140 pour l'acier. M. L.

---

[1] *Wied. Ann.*, t. XLI, p. 578-597.

BIBLIOGRAPHIE

Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'année 1898 ; In-18 de VI-806 pages, *Gauthier-Villars*, éditeurs, Paris. Prix : 1,50 fr.

M. Lœwy a présenté à l'Académie des Sciences, dans la séance du 13 décembre, l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* pour l'année 1898.

Ce petit volume publié par la maison Gauthier-Villars, contient toujours une foule de renseignements scientifiques. Cette année, nous y trouvons en outre les notices suivantes :

Sur la stabilité du système solaire; par M. H. Poincaré, — *Notice sur l'œuvre scientifique de M. H. Fizeau;* par M. A. Cornu. — *Sur quelques progrès accomplis avec l'aide de la photographie dans l'étude de la surface lunaire;* par MM. M. Lœwy et P. Puiseux. — *Sur les travaux exécutés en 1897 à l'observatoire du mont Blanc;* par M. J. Janssen. — *Discours prononcés au cinquantenaire académique de M. Faye*, le 25 *janvier* 1897; par MM. J. Janssen et M. Lœvy.

Pour la seconde fois seulement, depuis plus d'un siècle, cette utile publication paraît avant le commencement de l'année où elle doit servir. Mais on ne l'avait pas encore vue mise en distribution avant le milieu de décembre; c'est une nouvelle preuve de l'activité des éditeurs MM. Gauthier-Villars.

Physikalisches Praktikum (Manuel de physique pratique) : par E. Wiedemann et H. Ebert. Un vol. in-8°, de 490 pages avec 310 fig. 3e édit. *Vieweg*, éditeur, Braunschweig, 1897.

Le succès de ce livre est attesté par la rapidité avec laquelle se sont écoulées les deux premières éditions.

Dans la partie consacrée spécialement à l'électricité, les méthodes de mesure relatives aux électrolytes sont traitées avec un soin particulier, conformément au but de l'ouvrage, qui s'adresse surtout aux personnes qui veulent effectuer les expériences physico-chimiques. Ce n'est pas à dire cependant que le livre ne puisse être consulté avec fruit par les physiciens, le nom des auteurs en est garant. En dehors de leurs travaux personnels, MM. Wiedemann et Ebert ont à se réclamer d'une compétence pédagogique incontestable : la preuve en est dans la manière dont ils ont su installer l'Institut de physique de l'Université d'Erlangen, lequel peut assurément servir de modèle.

M. L.

CORRESPONDANCE

A propos de l'interrupteur universel.

Berlin, 30 novembre 1897.

Dans une communication intitulée « Interrupteur universel » (numéro 41 du 9 octobre de cette année de votre revue *L'Éclairage Électrique*), l'invention d'un éclairage d'escalier exécuté avec cet interrupteur est attribuée à la maison Guénée et Cie.

Nous nous permettons à ce sujet d'indiquer que cet appareil a été garanti à notre maison dès le 6 avril 1895 par brevet allemand.

Nous vous envoyons ci-joint un de nos catalogues de l'année 1896 par lequel vous verrez (n° 85, p. 10 et 11) que nous exécutons cet appareil depuis cette époque. Il nous serait agréable que vous ayez la bonté de prendre note de cette communication dans votre revue.

Plein de haute considération,

Allgemeine Electricitæts-Gesellschaft.

Paris, le 15 décembre 1897.

Monsieur,

J'ai l'honneur de vous donner copie d'une lettre reçue ce matin, de la Société normande d'électricité, propriétaire du brevet de l'interrupteur universel :

« J'ai bien reçu votre lettre du 11 courant, en réponse à laquelle je m'empresse de vous informer que le brevet pris par notre Société pour l'interrupteur universel date du 11 janvier 1895 (n° 244153)

et qu'il est par conséquent antérieur au brevet allemand datant du 6 avril 1895 seulement.

« Veuillez agréer, etc.

« Signé : BIZET. »

Veuillez agréer, monsieur, mes plus sincères salutations.

Albert GUÉNÉE et Cie.

A propos de l'indicateur à distance à champ tournant.

Paris, le 6 décembre 1897.

Monsieur,

Nous vous prions de noter que l'indicateur à distance à champ tournant n'est pas d'invention allemande.

Des appareils basés sur le même principe ont été construits dans nos ateliers en mai 1896. Les premiers donnaient douze indications. Un autre a été fait sur les calculs et dessins d'un officier de marine pour des transmissions d'ordres à bord. Il a été achevé en juillet 1896. L'aiguille s'arrêtait en soixante positions différentes.

Nous tenons à prévenir ainsi que s'il y a un brevet français pour le transmetteur Arld, ce brevet est sans valeur puisqu'il a été pris longtemps après l'apparition du premier appareil de ce type.

Veuillez, etc.

GUÉNÉE et Cie.

M. Maurice LEROY nous a fait également observer que, dès 1892, il a publié dans *L'Électricien*, sous le pseudonyme Yorel, plusieurs articles sur la génération et l'utilisation du champ magnétique tournant pour les transmetteurs d'ordres.

N. d. l. R.

CHRONIQUE

Les tramways électriques de Saint-Sébastien. — La Compagnie des tramways de Saint-Sébastien ayant décidé de transformer le mode de traction sur ses lignes, chargea la Compagnie de l'Industrie électrique de Genève des nouvelles installations. L'ensemble des lignes, nous dit *L'Industrie Électrique*, a une longueur de 11,5 km, elles présentent des rampes de 0,045 et ne comportent qu'une voie. La station centrale est située sur l'emplacement des anciens dépôts de la Compagnie des tramways, à peu près au milieu du parcours Renteria-Venta-Berri ; elle se compose de trois machines à vapeur attelées aux dynamos par des courroies.

La partie mécanique de cette usine a été exécutée par la maison Escher Wyss et Cie de Zurich ; elle comprend trois chaudières tubulaires, chacune de 110 m² de surface de chauffe avec foyer en tôle ondulée et 71 tubes bouilleurs. L'alimentation des chaudières est fournie par une pompe Worthington pouvant débiter 120 litres d'eau par minute. Il y a en outre un injecteur de réserve. Les machines à vapeur, au nombre de trois également, ont été construites par Escher Wyss et Cie ; ce sont des machines compound-tandem à condensation, disposées horizontalement. Leur puissance normale est de 150 chevaux, mais elle peut atteindre jusqu'à 200 chevaux, à la vitesse de 120 tours par minute.

La partie électrique comprend trois génératrices Thury à courant continu et à 6 pôles, avec paliers de graissage automatique à bagues. Elles tournent à 350 tours par minute et peuvent absorber en marche normale une puissance de 160 chevaux, fournissant ainsi 105 kilowatts aux bornes. L'enroulement est compound et déterminé de façon que la tension soit de 500 volts pour la marche à vide et de 550 pour la pleine charge. Sur un tableau en marbre sont montés tous les appareils nécessaires au service des machines, enfin un parafoudre les protège contre les décharges atmosphériques.

Le courant est fourni aux moteurs par une ligne de contact aérienne ; c'est un fil de cuivre durci de haute conductibilité, ayant un diamètre de 8,25 mm. Ce fil est supporté par des consoles en fer montées sur poteaux de bois dans la partie du trajet qui appartient à la Compagnie ; dans les rues de Saint-Sébastien, le fil est supporté par des poteaux métalliques ou par des fils transversaux reliés aux maisons. Les suspensions sont isolées par des isolateurs spéciaux en substances à base de mica, insensibles à l'influence de la température et de l'humidité. La ligne de retour du courant est cons-

tituée par les rails. Ceux-ci sont reliés électriquement entre eux par un éclissage spécial qui comporte un fil de cuivre de 9 mm de diamètre, muni à ses extrémités de douilles coniques en laiton, forcées par l'intermédiaire de clavettes en acier dans les trous aménagés dans le rail à cet effet.

Le matériel roulant se compose de 10 voitures automotrices, pouvant prendre 42 voyageurs, 22 à l'intérieur et 10 sur chacune des deux plates-formes. La longueur des voitures est de 7,96 m et de 8,48 m en comprenant les attelages. Les dimensions extérieures de la caisse sont 5,16 m et 2 m. Le plancher des voitures est à panneaux mobiles pour faciliter la visite du dessous. Les trucks sont entièrement métalliques et disposés pour recevoir deux moteurs électriques; ils sont munis d'un frein puissant capable d'arrêter les quatre roues à la fois. Les voitures portent devant chaque plate-forme une sablière à manivelle destinée à remédier au patinage éventuel des roues.

L'équipement électrique de chaque voiture se compose d'une prise de courant, de deux appareils de mise en marche, un sur chaque plate-forme, de coupe-circuits à plombs fusibles, de parafoudres, de cadres de résistance de réglage, de l'éclairage complet de la voiture et de deux moteurs pouvant développer chacun une puissance de 20 à 25 chevaux. Ces moteurs peuvent fournir un travail continu de 20 chevaux pendant vingt-quatre heures sans s'échauffer d'une manière exagérée, et marcher sans difficulté avec des surcharges temporaires de 50 p. 100. La prise de courant est à contact glissant articulé, diminuant les chances de déraillement plus nombreuses avec l'emploi de la roulette. Le contact glissant est porté par une perche métallique pivotant sur sa base lorsqu'on veut changer le sens de la marche.

Les voitures automotrices sont capables de remorquer deux des anciennes voitures, dans les cas où le nombre des voyageurs augmente brusquement. Les voitures remorquées sont à 24 places, 12 à l'intérieur et 6 par plate-forme; les unes sont ouvertes et pèsent 1 200 kg, les autres fermées et ont un poids de 1 800 kg.

Nouveau tramway à trôlet souterrain à Washington. — La station génératrice de force motrice du réseau de tramways funiculaire de Washington ayant été récemment détruite par un violent incendie, il fut décidé que la traction, actuellement effectuée à titre provisoire par chevaux, serait à l'avenir effectuée par l'électricité. Mais la population de Washington étant opposée à l'installation d'un réseau à trôlet aérien, on songea à utiliser le caniveau construit pour le funiculaire pour y loger les conducteurs électriques et amener le courant aux moteurs des voitures par trôlet souterrain.

D'après *The Electrical Engineer*, de New-York, du 2 décembre, les travaux sont en pleine activité. Les conducteurs, formés d'un fer en T dont la tête est disposée verticalement, sont supportés par des isolateurs que l'on a tout simplement fixés aux rails formant les lèvres de la fente de la conduite, fente servant auparavant au passage du câble d'attache et qui servira maintenant au passage de la tige du trôlet. La plus grande partie de la voie est actuellement équipée et soixante-dix voitures, munies de moteurs G. E. 1000, n'attendent plus que l'achèvement de la station génératrice pour commencer leur service. Quant à cette station elle ne sera pas construite sur l'emplacement de l'ancienne, bien que cet emplacement fût situé dans de bonnes conditions : à peu près au milieu de la ligne; on a préféré, à cause de plus grandes facilités dans l'approvisionnement en eau et en charbon, et aussi en vue d'un allongement de la ligne, la placer à l'une des extrémités de la ligne actuelle.

Dépôts galvaniques sur l'aluminium. — Depuis que l'emploi de l'aluminium s'est développé considérablement, on a essayé de le recouvrir par les procédés qui réussissent habituellement avec les autres métaux : platinage, trempé, galvanisation.

Les procédés jusqu'ici sont peu pratiques. On a essayé sans grand succès l'amalgame d'argent obtenu en plongeant l'aluminium dans une solution de cyanure double d'argent et de mercure à l'ébullition. Une autre méthode consiste à attaquer le métal par la solution d'acétates de cuivre et de fer avec du sel ammoniac et du soufre en suspension, on frotte ensuite énergiquement avec une brosse de laiton.

L'inconvénient du cuivrage par le trempé est que la couche de cuivre est rarement adhérente. Le meilleur bain de cuivrage se compose d'une solution d'oxalate double de cuivre et de potassium avec de l'acide oxalique et du chlorure d'ammonium.

On a essayé, à la manufacture allemande des procédés Mannesmann, nous dit *L'Électrochimie*, d'après *Electrochemische Zeitschrift*, pour la

fabrication des tubes, de cuivrer l'aluminium par voie galvanique après l'avoir recouvert d'une couche métallique adhérente.

Dans la méthode au trempé la surface de l'objet doit être au préalable bien nettoyée. On emploie l'un des procédés suivants :

1° De la poudre de zinc est dissoute dans de l'acide azotique bouillant, on plonge l'aluminium dans le liquide décanté et porté à l'ébullition, il se recouvre rapidement d'une couche de zinc adhérente.

2° L'aluminium est placé dans de l'eau chauffée à 50° et contenant à 1,6 gr à 1,12 gr de chlorure de fer ou de cuivre. Le métal se recouvre rapidement de fer ou de cuivre.

3° Le bain se compose d'une solution concentrée de sulfate de cuivre additionnée de 1/2 à 2 p. 100 de chlorure de calcium et bouillante ; l'aluminium se recouvre d'une couche de cuivre adhérente. L'addition d'une quantité double de chlorure de calcium est favorable.

On peut soumettre les objets ainsi recouverts au cuivrage galvanique ordinaire, pour augmenter l'épaisseur du dépôt.

Pour recouvrir l'aluminium on peut encore opérer par fusion ; on étale à la surface le liquide contenant la combinaison métallique réductible par l'aluminium. On sèche et chauffe à température convenable. On frotte ensuite avec la masse d'or ou d'argent que l'on utilise dans la décoration de la porcelaine, et l'on chauffe enfin vers 500°.

On peut, pour former la première couche métallique, frotter l'aluminium avec une pâte de borate de plomb (14 à 20 p.), d'oxyde de cuivre (1 à 5 p.) et d'huile de térébenthine. Après cuisson, il reste une fine pellicule de plomb cuivreux. Pour l'argenture on prend la solution suivante :

Nitrate d'argent	17 à 24 p.
Eau	4 à 9 p.
Alcool	8 à 14 p.

que l'on verse à l'abri de la lumière dans une autre solution contenant :

Alcool	40 à 53 p.
Acide citrique	2 à 5 p.
Chlorure de calcium	4 à 6 p.
Collodion	22 à 29 p.

Les objets recouverts de cette solution sont séchés et mis au four ; on obtient ainsi une pellicule blanchâtre et adhérente d'argent.

D'autre part, voici, d'après *L'Industrie Électro-chimique*, le procédé indiqué par MM. Lanseigne et Leblanc, pour argenter, cuivrer, dorer et nickeler l'aluminium.

Les objets en aluminium, à recouvrir électrolytiquement par d'autres métaux, sont décapés dans une solution diluée de soude ou de potasse caustique ou dans de l'acide chlorhydrique étendu au 1/10 environ. Ils sont ensuite soumis à un brossage énergique dans de l'eau pure. Ainsi préparés, ces objets peuvent être revêtus d'une couche d'or, d'argent, de cuivre ou de nickel au moyen des bains suivants :

Or :	
Chlorure d'or	20 gr.
Cyanure de potassium	40 »
Phosphate de sodium	40 »
Eau distillée	2 litres.
Argent :	
Nitrate d'argent	20 gr.
Cyanure de potassium	40 »
Phosphate de sodium	40 »
Eau distillée	1 litre.
Cuivre :	
Cyanure de cuivre	300 gr.
» de potassium	450 »
Phosphate de sodium	450 »
Eau distillée	5 litres.
Nickel :	
Chlorure de nickel	70 gr.
Phosphate de sodium	70 »
Eau distillée	1 litre.

Ces bains doivent être chauffés entre 60 et 70°, et la température doit être maintenue constante pendant toute la durée de l'opération. Les anodes doivent être de même métal que celui qui est en dissolution dans le bain.

ERRATA

Dans la chronique **Ampoule productrice de rayons X**, p. 281, ligne 7 de cette chronique, au lieu de *albumine en poudre*, lire alumine en poudre.

Dans la bibliographie ***l'Appareil unipole***, l'auteur, M. J. Piérart, a été qualifié d'*ingénieur* des télégraphes belges. M. Emile Piérard, ingénieur des télégraphes belges, nous écrit à ce sujet :

« Comme la similitude des noms pourrait amener une confusion, et désireux de rendre à chacun son bien, je crois utile de faire remarquer que l'auteur de la note en question est M. J. Piérart, *commis* à l'administration des télégraphes belges. »

Le Gérant : C. NAUD.

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Théories et généralités.

Conducteurs et électrolytes.

Décharge électrique.

Oscillations hertziennes.

Rayons Rœntgen.

Magnétisme.

Sources d'électricité.

Météorologie.

Électro-optique.

Thermo-électricité.

APPLICATIONS

Génération, transformation de l'électricité.

Distribution de l'énergie électrique.

Applications mécaniques.

Traction.

Télégraphie et téléphonie.

Applications thermiques.

Éclairage.

Électrochimie et Électrométallurgie.

MESURES

DIVERS

Bibliographie.

Sociétés savantes.

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

J

K

L

M

S

T

U

V

W

Z

TABLE DES SUPPLÉMENTS

Évreux, imprimerie de Charles Hérissey

NOUVELLES

La traction électrique à Alexandrie. — On nous informe que la Compagnie des tramways d'Alexandrie a entrepris de substituer la traction électrique à la traction animale sur son réseau de tramway. Déjà une ligne, celle de la place Sainte-Catherine aux Abattoirs et à Karmour est terminée et livrée à l'exploitation. L'inauguration des nouvelles voitures, qui eut lieu ces temps derniers, a été faite par le khédive lui-même qui a tenu à s'assurer du bon fonctionnement des organes de manœuvres en remplissant les fonctions du wattman pendant le premier parcours. Tout a fonctionné à souhait, nous dit-on, et le khédive n'a pu que louer la Compagnie des tramways de son heureuse initiative.

La traction électrique à Béziers. — Nous lisons dans le *Petit Méridional*, de Montpellier, que le maire de Béziers a définitivement signé le traité de rétrocession des tramways électriques de Béziers attribuée à MM. Chassary et Merlin, entrepreneurs, par décision du conseil municipal en date du 26 août dernier (*Supplément*, t. XII, p. XLIX). Ces messieurs ont constitué, sous le nom de Compagnie des tramways électriques de Béziers et extension, une Société anonyme au capital de un million de francs pour construire et exploiter le réseau. Ils ont ainsi par avance donné satisfaction à l'obligation que leur imposait l'article 16 du traité de rétrocession, de constituer une Société anonyme qui leur serait substituée dans le délai de six mois, à partir de la déclaration d'utilité publique.

L'étude du projet de construction se poursuit avec la plus grande activité, cinq agents sont chargés d'établir les plans. Tout porte à penser que l'enquête réglementaire sera ouverte avant la fin de 1897.

Les entrepreneurs ont déjà visité un certain nombre de terrains pour y établir l'usine électrique, ainsi que les ateliers de réparation et remises de voitures.

La traction électrique à Brest. — A la requête d'une délégation instituée par les ouvriers habitant les faubourgs de Brest, la Compagnie des tramways électriques a décidé de créer des trains ouvriers à tarif réduit. Ainsi, les voyageurs qui désireront se rendre de la rue d'Inkermann aux portes du Conquet, ou des portes du Conquet à Saint-Pierre-Quilbignon, ne paieront que 0,10 fr pour l'aller et 0,15 fr pour l'aller et retour.

Les travaux sont activement poussés sur les parties du réseau qui ne sont pas encore transformées. La ligne à double voie de l'octroi à la rue de Bel-Air est presque terminée ; les rails sont posés sur une longueur de 300 m. Dès que le ballast et le pavage de la chaussée seront rétablis, on continuera par le dernier tronçon qui va de l'octroi à l'usine de Kérinou.

La traction électrique à Brive. — La question des tramways électriques a été agitée dans notre ville, écrit le rapporteur du conseil dans la *République*, de Brive, et doit prochainement figurer à l'ordre du jour des séances pour y discuter sur les conditions à mentionner sur les demandes de proposition que la municipalité doit incessamment lancer.

La traction électrique à Cannes. — Le concessionnaire du réseau de tramways électriques que l'on doit prochainement installer à Cannes, M. Bertolus, est venu s'informer du point où en étaient les travaux d'étude pour commencer les premières démarches aussitôt que possible.

La traction électrique à Elm Grove (États-Unis. Pa.). — La Compagnie qui exploite le chemin de fer de Elm Grove-Wheeling vient de décider de

remplacer son matériel de traction à vapeur par des locomotives électriques. D'autres lignes seront créées par la même compagnie pour desservir les nombreuses localités et lieux de plaisir situés entre les deux villes. La traction sur ces dernières sera également électrique.

La traction électrique à Grasse. — La ville de Grasse aura enfin des tramways électriques, nous assure le *Petit Niçois*. Les voitures sont déjà commandées et seront très luxueusement aménagées, paraît-il. La direction du Grand-Hôtel en fait faire une pour son compte personnel qui remplacera ses omnibus en prenant les voyageurs et leurs bagages à la gare même pour les amener, par la ligne interurbaine avec embranchement, jusque dans la cour même de l'hôtel.

La traction électrique au Mans. — Tout en louant l'habile organisation de la Compagnie des nouveaux tramways, le *Nouvelliste*, du Mans, de même qu'une autre feuille locale engagent vivement ladite Compagnie à augmenter son matériel de réserve de quelques voitures motrices et de remorque afin de pouvoir donner satisfaction aux nombreux voyageurs des dimanches et jours fériés.

La traction électrique à Marseille. — La question de la substitution de la traction électrique à la traction animale sur le réseau de tramways de Marseille, va-t-elle s'éterniser en discussions? En tout cas, nous dit le *Petit Marseillais*, les choses ne sont guère plus avancées qu'il y a un mois.

On se rappelle (*Supplément*, t. XII, p. XXXIII) que dernièrement le conseil municipal avait entamé avec la Compagnie des tramways de Marseille les premières négociations sur le projet de convention à intervenir entre cette dernière et la ville. Or, la solution de cette affaire est encore reculée du fait que l'accord n'a pu s'établir sur certains points importants.

La ville, par exemple, laissait à la charge de la Compagnie l'entretien des pavages et cette dernière arguait que, par suite de la transformation de la traction, l'usure des pavages n'étant plus de son fait, elle ne pouvait en être rendue responsable.

En ce qui concerne les tarifs et correspondances, la Compagnie acceptait les tarifs proposés par la ville, sauf quelques modifications sans importance.

La Compagnie maintiendrait le système des trains ouvriers à raison de deux trains à trois voitures dans chaque sens. Le départ de ces trains aurait lieu avant le premier départ du service ordinaire et le tarif serait de 20 centimes pour l'aller et retour, quel que soit le parcours effectué.

En ce qui concerne les redevances, la ville maintenait la perception de 2,25 p. 100 sur la totalité des recettes et prétendait partager les recettes de la Compagnie au delà de 3800000 francs. La Compagnie ne peut accepter cette clause. Toutefois, et pour prouver à la municipalité son désir de trouver un terrain d'entente, elle accepterait d'attribuer à la ville une redevance supplémentaire de 2,25 p. 100 sur l'augmentation de la recette au delà du chiffre de 3800000 francs, soit 4,50 p. 100 au total à partir de ce dernier chiffre.

Après une discussion très laborieuse du conseil réuni en séance plénière, la commission spéciale a résolu que de nouveaux pourparlers seraient engagés avec la Compagnie des tramways sur les données suivantes :

La ville renoncerait à la perception de la moitié des recettes à partir de 3800000 francs ; mais la redevance de 2,25 p. 100 actuellement perçue sur la recette totale serait élevée à 4 p. 100.

Les concessions faites par la ville sont déjà considérables et, débarrassée de la condition de partage des recettes, à partir d'une somme déterminée, la question semble d'une solution plus possible. Il reste encore à faire l'entente sur certains points du tarif et, cela acquis, on ne sera plus loin de la mise en œuvre.

Quoi qu'il en soit, le maire a saisi la Compagnie des tramways des nouvelles résolutions du

conseil municipal et les pourparlers vont continuer sur ces bases. Aboutiront-ils rapidement? Nous ne saurions le dire. Mais si la solution ne dépend plus que d'un peu de bonne volonté de part et d'autre, nous le souhaitons volontiers dans l'intérêt de la population laborieuse, des travailleurs qui sont le plus directement intéressés.

Au moment de mettre sous presse, nous apprenons que la réponse de la Compagnie des tramways aux propositions de la municipalité, relativement à la modification de la traction des tramways, vient de parvenir à M. le maire. La Compagnie se montre disposée à débattre à l'amiable les derniers points qui la divisent avec la municipalité. Elle accepte les tarifs à 10, 15, 20 centimes; mais n'accepte point le pourcentage perçu par la ville au chiffre proposé par l'administration. Sur cet article et quelques autres en suspens, le conseil municipal décidera.

La traction électrique à Montluçon. — Une commission technique, nommée par le Conseil municipal de Montluçon, a fait un premier examen du projet présenté par la Compagnie l'Omnium, pour l'installation d'un réseau de tramways électrique. Plusieurs points de ce projet ont été discutés et quelques courbes des tracés rectifiées par les ingénieurs des ponts et chaussées; toutefois rien n'est changé de la question financière où l'accord a subsisté, et on assure que le rapport de la Commission, qui ne sera connu que dans une huitaine, sera favorable au projet en question.

D'autre part, la commune de Néris, voisine de Montluçon, a fait des démarches auprès des futurs concessionnaires pour raccorder à leur ligne un embranchement qui desservirait Néris.

La traction électrique à Nevers. — Le conseil général de la Nièvre vient de donner un avis favorable au projet de construction d'un réseau de tramways à traction électrique dans la ville de Nevers (Voir *L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 42.) La réalisation de ce projet dépend donc maintenant de l'activité du conseil.

L'éclairage électrique à Liège. — La pose des câbles électriques au boulevard de la Sauvenière est à peu près terminée et d'ici à quelques jours toute trace des travaux aura entièrement disparu. Comme nous l'avons dit (*Supplément*, t. XII, p. XLI), cette installation est appelée à desservir, pour le moment du moins, les habitants du boulevard de la Sauvenière qui désireraient adopter la lumière électrique. Plus tard ces mêmes câbles serviront à l'éclairage électrique qu'on est décidé à placer sur toute la longueur des boulevards.

Les habitants du boulevard de la Sauvenière sont dès à présent décidés à adopter l'éclairage électrique et d'ici à quelques jours leurs immeubles seront raccordés aux câbles souterrains qu'on vient de placer. De nombreuses personnes sont également en pourparlers avec la Compagnie d'électricité et plusieurs de ces négociations sont en train d'aboutir.

L'extension qu'à prise l'éclairage électrique dans cete ville depuis deux ou trois ans est considérable (*L'Éclairage Électrique*, t. X, p. 379; 20 février 1897) et l'usine de la rue Jonfosse est dès maintenant presque insuffisante, surtout depuis l'installation de l'usine électrique qui dessert les tramways liégeois. Aussi est-il fortement question d'agrandir l'usine actuelle.

Trois projets sont, paraît-il, en présence et l'on est occupé à les étudier. Le principal consisterait à faire disparaître le gazomètre de la rue Jonfosse sur l'emplacement duquel on construirait de nouveaux bâtiments destinés à recevoir de nouvelles machines-dynamos.

L'éclairage électrique à Tours. — La question de l'éclairage électrique occupe depuis quelque temps les séances du Conseil municipal de Tours.

La commission, nommée par lui, à charge de reviser le traité qui lie la ville avec la Compagnie du gaz, dit dans son rapport que suivant certaines clauses, notamment celles de l'article 12, relatives aux questions de supériorité d'éclairages, la ville est en droit d'exiger de la Compagnie du gaz de

remplacer son mode d'éclairage actuel par l'éclairage électrique et, qu'en cas de refus de cette dernière, le Conseil sera libre de mettre l'entreprise à l'adjudication.

En conséquence, le Conseil a décidé qu'il y avait lieu :

1° De se mettre en rapport avec l'administration du gaz et de faire auprès de cette dernière des démarches nécessaires en vue de l'application de l'article 12 du traité ;

2° Dans le cas de non-entente, de poursuivre la question en conformité du même article, en commençant des négociations avec toute autre personne, ou toute autre compagnie pouvant remplacer le gaz par l'électricité ;

3° De soumettre au Conseil municipal un projet de ce nouveau système d'éclairage dans le plus bref délai.

L'éclairage électrique à Toulon. — Décidément ce mode d'éclairage est du goût des Toulonnais. Dernièrement nous disions que les habitants du quartier de la place d'Armes avaient pétitionné pour l'obtenir, et que satisfaction leur avait été donnée. Aujourd'hui ce sont les habitants de la rue d'Alger qui viennent d'adresser au maire une requête dans le même sens. Tout porte à croire qu'elle recevra satisfaction et que les lampes électriques remplaceront peu à peu les becs de gaz dans toute la ville.

L'éclairage électrique à Wormhoudt (Nord). — Par suite d'un contrat passé entre la municipalité de Wormhoudt et M. Eugène Decherf, concessionnaire, l'éclairage électrique doit fonctionner dans cette localité à la fin du mois de novembre.

D'ici peu les communes d'Hondschoote, Herzeele, Bollezeele, Esquelbeck, etc., pourront profiter également des progrès accomplis dans l'éclairage.

L'éclairage électrique au Palais de Justice de Paris. — Dans peu de jours, nous dit le *Petit Journal*, les chambres du tribunal civil seront éclairées à la lumière électrique. Dès maintenant les travaux de canalisation sont à peu près terminés et bientôt l'on posera aux plafonds des chambres des lustres munis de lampes à incandescence et les tables des présidents, du ministère public, les bancs des avocats seront aussi munis de lampes à incandescence.

L'apparition de l'éclairage électrique au Palais de Justice est une sorte d'événement, car on sait que Thémis se montre quelque peu ombrageuse quant aux progrès modernes. Mais aussi cette innovation sera bien accueillie par tous ceux qui fréquentent le Palais, car nul n'ignore que c'est par une métaphore des plus hardies que l'on appelait le Temple de la Lumière l'endroit le plus mal éclairé de Paris.

Le rapport présenté par M. Deville au conseil général en juillet dernier, rappelait que le crédit nécessaire à l'éclairage électrique du Palais de Justice, du tribunal de commerce et de la préfecture de police a figuré à plusieurs budgets avant que l'on trouvât le moyen pratique de mettre à exécution la réforme projetée.

L'installation de la lumière électrique dans les chambres du tribunal civil n'est pas, ainsi que l'on a pu le croire, une tentative, mais le commencement de la transformation aujourd'hui décidée. Les travaux ont été commencés dans cette partie du Palais simplement parce qu'elle seule était jusqu'ici privée de toute installation d'éclairage. Lorsque les audiences des chambres civiles se prolongeaient après la tombée du jour, les débats continuaient à la lueur faible et incertaine de lampes à huile, et c'est au milieu d'une quasi-obscurité que se rendaient les jugements.

On s'occupera ensuite de la salle d'assises, puis des chambres correctionnelles. Pour la cour d'appel, les travaux ne pourront être entrepris qu'après entente avec le ministère de l'intérieur, dont elle dépend.

Au Palais de Justice, en effet, certaines parties ressortissent au ministère de la justice, d'autres au ministère de l'intérieur, ou à la préfecture de la Seine ; le tribunal de simple police, enfin, dépend de la ville de Paris.

Lorsque le Palais de Justice tout entier sera éclairé à l'électricité, viendra le tour du tribunal de commerce, de la préfecture de police et de l'hôtel du préfet de police.

Cet éclairage a donné lieu à d'assez sérieuses discussions en ce qui concerne la production de l'énergie. Créera-t-on une station privée ou adoptera-t-on le système d'alimentation que propose la direction du secteur de la rive gauche ? L'intervention d'une commission spéciale était nécessaire pour discuter ces deux points et c'est à quoi M. le préfet de la Seine a eu recours. Voici en quelques mots le but de cette commission et le résultat auquel elle a abouti : Le budget voté pour l'éclairage au gaz des divers locaux du Palais de Justice est annuellement de 200 000 fr. Or, la quantité d'électricité nécessaire à la substitution pourrait être produite dans une station privée que l'Etat ou la Ville pourrait faire édifier et exploiter à ses frais. Mais diverses considérations, telles que les frais d'établissements et d'outillage de cette station, ont donné à penser que l'éclairage fourni dans ces conditions dépasserait notablement — en comprenant l'amortissement — le budget prévu et que, d'autre part, le matériel de l'usine est susceptible de n'être plus bon, dans quelques années, qu'à faire place à d'autres machines plus perfectionnées, d'où frais nouveaux et augmentation du prix de revient de l'éclairage. C'est donc pour cette raison majeure que la commission a engagé le préfet à traiter avec le secteur de la rive gauche dans des conditions sur lesquelles nous aurons prochainement à revenir.

Installations électriques militaires. — La *Revue du Génie militaire* donne une description détaillée de deux installations d'éclairage électrique effectuées l'une dans un quartier de cavalerie, à Lure; l'autre dans u casernement d'artillerie, à Héricourt. Toutes les lampes employées sont à incandescence, les lampes à arc ayant été rejetées, malgré leur fonctionnement économique, même dans les cours et manèges. Les raisons qui ont modifié ce rejet sont :

1° Lumière superflue en certains points et obscurité presque complète pour d'autres parties, à moins de multiplier outre mesure le nombre des foyers;

2° Lumière mal répartie, scintillements, ombres trop fortes faisant peur aux chevaux dans les manèges;

3° Obligation de remplacer presque journellement les charbons des lampes et difficultés d'entretien du mécanisme de celles-ci par les soins des ouvriers du corps.

Depuis on a, d'ailleurs, reconnu que plusieurs de ces critiques sont au moins exagérées.

Les installations dont il s'agit comportent chacune une dynamo, actionnée par un moteur à vapeur et pouvant charger une batterie d'accumulateurs destinés à fournir le courant aux quelques lampes qui restent allumées entre le moment de l'extinction des feux et le réveil. Le service de l'installation est fait, dans les deux cas, par des hommes de troupe non rétribués, ce qui abaisse sensiblement le prix de revient de l'éclairage qui reste cependant assez élevé.

L'éclairage électrique des fiacres, à Paris. — Nous lisons dans la *Revue des Transports*, que la Compagnie des voitures *l'Abeille* va expérimenter un système d'éclairage électrique automatique dans ses véhiculcs.

Voici en quoi consiste le dispositif adopté : Une boîte d'accumulateurs, type Éclair, du poids total de 26 kg, alimente une petite lampe à incandescence de 4 à 5 bougies, placée sur un support fixé au fond de la voiture.

Une petite boite placée sous le strapontin renferme un mécanisme de commutation automatique qui établit les contacts quand on laisse tomber, par la fente pratiquée à la partie supérieure de la boîte, deux pièces de 10 centimes. On obtient ainsi une demi-heure d'éclairage. Les contacts se séparent d'eux-mêmes après ce laps de temps et la lampe s'éteint. L'ouverture d'une des portières provoque également l'extinction indépendamment de l'appareil si le voyageur quitte la voiture avant que la demi-heure soit écoulée.

Accident dû à l'électricité, à Paris. — Le 24 septembre dernier, vers six heures du soir, un accident qui, heureusement, s'est borné à des dégâts matériels, s'est produit dans un trou d'homme accédant à un poste de branchement des conducteurs d'électricité de la rue Montmartre. Un court-circuit s'étant produit dans ce poste, lequel renfermait très probablement du gaz d'éclairage

provenant d'une fuite, une formidable explosion s'est produite, et la plaque du trou d'homme a été projetée à la hauteur d'un premier étage et est retombée brisée en morceaux qui n'ont atteint personne. Toutefois quelques dames, témoins de l'accident, ont été prises d'une telle frayeur, qu'elles s'évanouirent. La plaque a aussitôt été remplacée, mais la Compagnie d'électricité se propose d'établir les causes de cet accident afin d'y remédier et d'éviter son retour, lequel pourrait avoir des suites plus graves que le premier.

Une station centrale dans les îles Havaï. — Une note de San-Francisco nous informe que la Westinghouse Electric Company vient d'obtenir la concession des travaux et fourniture du matériel pour l'érection d'une station hydraulique, à courant alternatif, d'une puissance de 250 chevaux, utilisant une chute d'eau dans le voisinage d'Honolulu.

Le prix du carbure de calcium en Suisse. — Par suite des progrès accomplis dans la fabrication du carbure de calcium et aussi de l'augmentation du nombre des consommateurs, les tarifs de vente semblent enclins à décroître progressivement. C'est ainsi que la Société génevoise d'électricité qui exploite l'usine de Vernier, près Genève, nous informe qu'elle livre maintenant du carbure, donnant 300 litres d'acétylène au kg, à raison de 425 la tonne (escompte 5 p. 100 pour l'exportation), pris en gare de Vernier.

L'emballage est fait dans des bidons contenant soit 60 à 70 kg, soit 100 kg de carbure. Ces bidons sont facturés de 5 à 6 francs et sont repris au remplissage, rendus en bon état et franco en gare de Vernier.

Compagnie française de traction mécanique et électrique (Dissolution). — D'une délibération de l'assemblée générale extraordinaire ayant eu lieu à Paris le 12 juillet 1897, il appert que la Société anonyme, Société Française de Traction mécanique et électrique, avec siège à Paris, 8, place Vendôme, a été dissoute à partir de cette date et que M. Edouard Dervieu, banquier, 8, place Vendôme, un de ses administrateurs a été nommé liquidateur amiable, avec les pouvoirs les plus étendus.

Compagnie française d'appareillage électrique. — La première assemblée générale annuelle de cette Société a eu lieu le 28 juillet dernier.

Les bénéfices de l'exercice se sont soldés par une somme de 130 430,41 fr, qui a reçu l'affectation suivante :

5 p. 100 à la réserve	6 521,50	fr.
5 » aux actionnaires	37 500	»
10 » au conseil d'administration	8 646,90	»
3 » dividende complémentaire aux actionnaires	22 500	»
A la réserve facultative	55 268,01	»
Total égal	130 430,41	fr.

Les actionnaires reçoivent donc, depuis le 1er août, un dividende de 8 fr brut, soit 7,48 fr net pour les titres au porteur et 7,68 fr pour les titres nominatifs. Les actions sont de 100 fr.

SOMMAIRES DES PÉRIODIQUES

L'Électricien, t. XIV, nº 351 (18 septembre 1897). — Les transmissions électriques et les machines-outils portatives dans les chantiers maritimes; G. Dary. — Mise en évidence sonore de l'impédance due au coefficient de self-induction ; E. Piérard. — Règles relatives aux installations à haute tension; M. Alliamet. — Notes pratiques sur l'établissement des canalisations électriques aériennes; J.-A. Montpellier. — Nº 352 (25 septembre 1897). — Métropolitains électriques souterrains de Londres; A. Bridge. — La fabrication électrolytique des alcalis et chlorates alcalins ; E. Piérard. — Nouveau modèle d'électrodes pour courants de haute fréquence; Dr Oudin. — Règles relatives aux installations à haute tension (*suite*); E. Brunswick. — Nouvelle forme de pièces polaires pour dynamos; M. Alliamet. — Rappel des bureaux télégraphiques secondaires desservis par un même conducteur; F. Montillot.

The Electrician, t. XXXIX, n° 22 (Londres, 24 septembre 1897). — Quelques méthodes d'essai à l'usage des ingénieurs télégraphistes (*suite*); J.-E. Young. — Sur les tramways électriques; C. Bilberg. — Piles-étalons; W.-C. Fisher. — Notes sur l'arc électrique; Th. Hesketh. — Les batteries d'accumulateurs; E.-J. Wade. — Sur une nouvelle méthode de mesure de l'hystérésis dans le fer; J.-L.-W. Gill.

The Electrical Review, t. XLI, n° 1035 (Londres, 24 septembre 1897). — Les télégraphes du Royaume-Uni de Grande-Bretagne (*suite*); C. Bright. — Méthode pour mesurer le coefficient de self-induction d'un conducteur; L.-H. Fry. — Quelques essais sur la variation des constantes avec la température et le courant dans les compteurs industriels (*suite*); G.-V.-D. Ricks. — Sur une nouvelle méthode de mesure de l'hystérésis dans le fer; J.-L.-W. Gill. — Sur une nouvelle forme de pile à gaz et un nouvel élément au charbon; W.-E. Case. — Coût de la puissance motrice par la vapeur (*suite*); H. Foster. — La précision dans la construction du matériel électrique; F.-B. Crocker. — La centralisation des stations centrales pour la génération du courant servant à l'éclairage, au transport de force et à l'exploitation des tramways, etc.; A. Wright. — Le calibrage des spires de rhéostat; V. Zingler.

Industries and Iron, t. XXIII, n° 1288 (Londres, 17 septembre 1897). — L'arc électrique à potentiel constant; O.-M. Rau et F. A. Vaughn. — N° 1289 (24 septembre 1897). — Une nouvelle forme de bobine d'induction; E. Thomson. — L'action de l'acide azotique sur l'aluminium et la formation de l'azotate d'alumine; T.-B. Stillmann. — La précision dans la construction du matériel électrique; F.-C. Crocker.

Engineering, t. LXIV, n° 1656 (Londres, 24 septembre 1897). — Le touage électrique sur les canaux.

The Electrical World, t. XXX, n° 10 (New-York, 4 septembre 1897). — Construction de canalisations souterraines à Saint-Louis (*suite*); F.-C. Cosby. — Sur une nouvelle méthode de mesure de l'hystérésis dans le fer; J.-L.-W. Gill. — Notes sur le fonctionnement des moteurs synchones; W.-S. Franklin. — N° 11 (11 septembre 1897). — Le chemin de fer électrique souterrain de Boston; J.-E. Tabbot. — Les machines à courant alternatif (*suite*); E.-J. Houston et A.-E. Kennelly. — Quelques essais sur la variation des constantes avec la température et le courant dans les compteurs industriels (*suite*); G.-W.-D. Ricks.

Elektrotechnische Zeitschrift, n° 37 (Berlin, 16 septembre 1897). — Appareil pour la vérification de l'épaisseur des tubes isolants pour canalisations; M. Jehnke. — Perturbations causées dans un câble sous-marin par le courant d'un tramway électrique; A.-P. Trotter. — Théorie et emploi pratique du phasemètre; J. Teichmuller. — N° 38 (23 septembre 1897). — Théorie et emploi pratique du phasemètre (*suite*); J. Teichmuller. — Influence du temps et de la température sur la charge résiduelle des diélectriques; J. Hopkinson et E. Wilson.

Wiedemann's Annalen, n° 3. — Sur les actions à distance; Drude. — Viscosité des liquides isolants dans un champ électrique constant; Quincke. — Diffusion mutuelle des électrolytes en solution aqueuse étendue, et en particulier relation entre la diffusion et les différences de concentration; Behn. — Viscosité magnétique; Klemencié. — Aimantation d'un anneau dont l'enroulement ne recouvre qu'une partie; Sauter. — Différence de potentiel aux pôles d'un appareil d'induction; Oberbeck. — Appareil commode pour la production des rayons de Lenard; Des Coudres. — Effets d'écran magnétique dans les champs alternatifs amortis créés par la décharge des condensateurs; Erskine. — Rôle des conducteurs isolés dans un champ électrique alternatif à grande fréquence; production des lueurs à la surface de ces conducteurs; les gaz raréfiés cessent de s'illuminer dans un champ à grande fréquence; phénomènes dans les gaz raréfiés renfermés dans des espaces métalliques presque entièrement clos, dans un champ à grande fréquence; Ebert et Wiedemann.

Zetischrift für Electrochemie, n° 5 (Halle, 5 septembre 1897). — L'électricité directement du charbon. — L'électrogravure. G. Langbein (n° 6; 20 septembre 1897). — Expérience sur le dosage des métaux séparés par l'électrolyse; H. Danneel; — Sur la séparation électrolytique du nickel des solutions de sulfates ou de chlorures; D.-F. Forster. — L'électricité directement du ch arbon (*suite*).

Zeitschrift für Elektrotechnik, n° 18 (Vienne, 15 septembre 1897). — Etude sur l'énergie moléculaire; W. Wolfrum. Compteur de fréquences; G.-W. Meyer.

Deutsche Zeitscrift für Elecktrotechnik, n° 6 (Halle, 15 septembre 1897). — L'utilisation du Saint-Laurent, au Canada. — Les tramways électriques à canalisation souterraine de New-York. — Les fiacres électriques à New-York. — Les tramways électriques à courant continu et alternatif; M. Schiemann.

BREVETS D'INVENTION

Liste communiquée par l'Office E. Barrault, 58 bis, *rue de la Chaussée-d'Antin, Paris.*

266 439. **Weber**, 30 avril 1897. — Régulateur ou lampe à arc voltaïque.

266 526. **Verley**, 1er mai 1897. — Nouveau mode de production de l'effluve électrique et son application à la production industrielle de l'ozone.

254 611. **Société Chauvin et Arnoux**, 23 avril 1897. — Certificat d'addition au brevet pris, le 7 mars 1893, pour perfectionnements dans les appareils enregistreurs.

266 624. **Kaiser**, 4 mai 1897. — Système d'écoutoir-résonateur applicable au téléphone, au phonographe et à tous appareils transmettant des vibrations sonores.

255 645. **Anizan**, 30 avril 1897. — Certificat d'addition au brevet pris, le 18 avril 1896, pour un nouveau système de microphone à action électro-magnétique.

266 649. **Farcot**, 5 mai 1897. — Perfectionnements dans les machines à fer tournant et à courants mono et polyphasés.

266 678. **Felu**, 6 mai 1897. — Flambeau ou chandelier portatif propre à l'éclairage électrique.

266 700. **Mordey**, 7 mai 1897. — Perfectionnements apportés aux balais et aux porte-balais pour machines dynamos.

266 705. **Majert**, 7 mai 1897. — Système de plaque ou grille pour accumulateurs électriques.

266 707. **Société Burns et Cᵉ**, 7 mai 1897. — Nouveau système de support de lampe à incandescence à baïonnette et à interrupteur.

266 709. — **Compagnie de Fives-Lille**, 7 mai 1897. — Appareil transmetteur d'ordres, à commande électrique et indépendante de la tension du courant.

NOUVELLES

La traction électrique à Boulogne-sur-Seine. — MM. Cauderay et Renard, représentant la Compagnie générale de Traction, ont récemment fait une demande en concession du nouveau réseau de tramways à traction électrique dont il est question de doter la ville de Boulogne-sur-Seine.

Voici, d'après la *Revue des Transports Parisiens*, les parties essentielles du mémoire descriptif que les demandeurs en concession ont présenté à la commission d'enquête :

Le réseau en question se composerait des trois lignes suivantes :

1° De la gare d'Auteuil à la porte de Saint-Cloud (porte du Bois de Boulogne sur la rive droite de la Seine), par la porte d'Auteuil, l'allée des Fortifications, et les boulevards d'Auteuil et de Boulogne. Longueur de la ligne à construire et à exploiter : 3,098 km ;

2° De la gare d'Auteuil au pont de Billancourt par la porte d'Auteuil, l'allée des Fortifications le boulevard d'Auteuil (parcours commun avec la ligne n° 1), l'avenue Victor-Hugo. les rues des Quatre-Cheminées, de Meudon et de Saint-Cloud jusqu'à la limite des communes de Boulogne et d'Issy-les-Moulineaux. Longueur à construire : 2,693 km ; à exploiter : 3,752 km ;

3° De la gare d'Auteuil au pont de Saint-Cloud (rive droite), par le parcours commun avec la deuxième ligne, y compris l'avenue Victor-Hugo, puis les rues de la Plaine, Legrand et le boulevard du Quatre-Septembre jusqu'à la limite des départements de la Seine et de Seine-et-Oise. Longueur à construire : 2,327 km ; à exploiter : 4,302 km.

La longueur totale du réseau se répartirait ainsi : ville de Paris, 0,382 km ; commune de Boulogne, 10,750 km. Une variante permettant d'établir le point de départ du boulevard Suchet, à Auteuil, est projetée. Le tronçon de ligne aurait 119 m de longueur.

Les lignes du réseau projeté sont établies à double voie sur une longueur de 4,199 km environ, Le reste du parcours, soit 3,918 km, s'effectuerait sur des lignes à voie unique, avec garages.

Sur certains parcours seulement, la voie ferrée sera établie sur accotements ou trottoirs des voies publiques, élargis ou non, afin de laisser libres leurs chaussées, en raison de l'importance de la circulation des voitures ordinaires.

Le mode de traction projeté est le système du fil aérien et trôlet.

Les voitures auront des points d'arrêt fixes ; la longueur des trains ne devra pas dépasser 30 m ; leur vitesse sera, au maximum, de 20 km à l'heure.

Les dépenses probables de premier établissement sont évaluées à 2 647 286 fr.

Les tarifs pour les parcours complets, sur chaque ligne, sont fixés à 15 centimes pour les premières classes et 10 centimes pour les secondes.

Nous ferons connaître prochainement les résultats de l'enquête et la suite administrative donnée à cet intéressant projet.

Société Boucherot et Cie. — INFORMATION. — Cette Société, récemment fondée par M. Boucherot, ingénieur-conseil à Paris, a pour objet la recherche et la mise en valeur de toutes solutions à des questions intéressantes et nouvelles se ratta-

chant aux applications de la physique et plus particulièrement à celles de l'électricité et de la mécanique.

La Société Boucherot et Cie met à la disposition des personnes désireuses de poursuivre leurs recherches ou études, un laboratoire complet et son personnel spécial. La Société se charge, en outre, de toutes les études d'installations de production, de transport, de distribution et d'utilisation de l'énergie électrique, ainsi que des expertises et arbitrages que l'on voudra bien lui confier.

Le siège de la Société est, 44, rue Laugier, Paris.

Les rayons de Rœntgen à l'Université de Zurich. — Le conseil d'État de Zurich demande au Grand Conseil un crédit de 12 000 fr pour installer à l'Université un cabinet de photographie aux rayons Rœntgen et éclairer à l'électricité la salle d'opérations.

Les brevets d'invention aux États-Unis. — Jusqu'ici la loi américaine laissait à l'inventeur étranger la faculté de se faire breveter aux États-Unis pendant toute la durée de son ou ses brevets étrangers, nonobstant toute publication de l'invention en un pays quelconque, pourvu toutefois que l'invention n'ait reçu aucune application deux ans avant le jour du dépôt de sa demande de brevet dans ce pays. A partir du 1er janvier prochain, cette clause libérale se trouvera abrogée : le brevet ne sera accordé, pour une invention déjà brevetée à l'étranger, qu'autant que la demande en aura été déposée au plus tard dans les sept mois à dater du dépôt de la demande du premier brevet à l'étranger.

Les inventeurs qui voudraient profiter des dispositions de l'ancienne législation devront donc faire déposer aux États-Unis, avant le 1er janvier prochain, les demandes de brevets relatives à leurs inventions.

Société internationale des électriciens. — Rappelons à nos lecteurs que la réunion ordinaire du 3 novembre est reportée au mercredi 10 novembre, date à laquelle doit avoir lieu une Assemblé générale extraordinaire.

Rappelons également que, d'après l'article 13 des statuts de la Société, toute assemblée générale extraordinaire doit réunir au moins 100 membres pour que ses délibérations soient valables.

L'ordre du jour est :

1° Questions financières relatives aux travaux d'agrandissement de l'École supérieure d'électricité;

2° Communications techniques : Photographies d'éclairs, par M. G. Loppé; Sur les travaux d'ateliers de l'École supérieure d'électricité (exposition d'appareils construits par les élèves), par M. P. Janet; Le matériel électrothérapique, par M. le docteur Foveau de Courmelles.

BREVETS D'INVENTION

Liste communiquée par l'Office E. Barrault, 58 bis, rue de la Chaussée-d'Antin, Paris.

L'Industrie électrique, n° 139 (10 octobre 1897). — Les fiacres électriques; G. Claude. — Turbine Laval fonctionnant sous 200 atmosphères; J. Reyval.

L'Electricien, t. XIV, n° 335 (16 octobre 1897). — Prédétermination de la chute de potentiel d'un transformateur travaillant sur un circuit non inductif (*suite*); M. Alliamet. — Horloge et carillon électrique de Grace Chapel à New-York; G. Dary. — L'alimentation des chaudières par l'électricité, P. Simon.

Annales télégraphiques, t. XXIII (mai-juin 1897). — Étude sur les piles; Voisenat. — Le service téléphonique dans les localités secondaires; M. Cailho. — Application des systèmes linéaires à la physique mathématique; H. Larose. — Renseignements statistiques sur les câbles sous papier fournis à l'administration française pendant l'année 1893; Dominé. — (Juillet-août 1897.) — Notes sur le service téléphonique en Allemagne (*suite*); M. Cailho.

The Electrician, t. XXXIX, n° 25 (Londres, 15 octobre 1897). — Le champ magnétique et les induits à trous; F.-G. Baily. — Nouvelle méthode pour localiser les ruptures complètes dans les câbles sous-marins; C.-W. Schaefer. — Recherches expérimentales sur les actinomètres électro-chimiques; H. Rigollot. — Les batteries d'accumulateurs; E.-J. Wade.

The Electrical Review, t. XLI, n° 1038 (Londres, 15 octobre 1897). — Calcul, construction et essai d'un transformateur de 1250 watts; H.-S. Carhart. — Stérilisation de l'eau impure par l'ozonisation; E. Andreoli. — L'électricité musculaire; J. Wright. — Sur les relations des courbes d'un arc avec celles des cratères dans les charbons positifs à mèche; Hertha Ayrton. — Moteurs à vapeur de stations centrales d'éclairage électrique; J. Davidson.

Industries and Iron, t. XXIII, n° 1295 (Londres, 12 octobre 1896). — Sur quelques nouvelles formes de piles à gaz et un élément à charbon; W.-E. Case. — Le coût de la production de la vapeur (*suite*); H.-A. Foster. — L'économie dans la distribution de l'énergie électrique.

The Electrical World, t. XXX, n° 14. — L'utilisation des Lachine Rapids. — La station centrale et système de transmission de l'énergie, à Montréal. — Quelques expériences avec des tubes de Crookes; A.-G. Dell. — Valeurs relatives des lampes à incandescence de 110 et de 220 volts; F.-W. Wilcox. — L'assemblage électrique des rails. Quel est le moyen d'obtenir les meilleurs résultats? H.-C. Newton.

Elektrotechnische Zeitschrift, n° 41 (Berlin, 14 octobre 1897). — Le cinquantième anniversaire de la fondation de la maison Siemens et Halske. — De l'influence de la chute de tension dans le calcul des alternateurs; J. Fisher-Hinnen. — Sur les parafoudres; K.-R. Koch.

SOMMAIRES DES PÉRIODIQUES

267 190. **Bose**. 24 mai 1897. — Cert. d'add. au brevet pris le 3 octobre 1896 pour perfectionnements aux crochets pour téléphones.

267 245. **Walter**. 25 mai 1897. — Outil pour nettoyer les batteries.

267 262. **Nodon et Bretonneau**. 25 mai 1897. — Procédé de pénétration électro-capillaire des substances fibreuses par les liquides.

267 264. **Brockies**. 25 mai 1897. — Commutateur électrique.

267 269. **Burke**. 25 mai 1897. — Perfectionnements dans les appareils télégraphiques électriques.

267 272. **Muller et Tudor**. 25 mai 1897. — Transformation d'un courant alternatif en courant continu et *vice versa*.

OUVRAGES REÇUS

Il est donné un compte rendu bibliographique de tout ouvrage dont **deux** *exemplaires sont envoyés à la Rédaction.*

Les fours électriques et leurs applications; par A. Minet. Un vol. petit in-8° de l'Encyclopédie scientifique des Aide-mémoire. *Gauthier-Villars et fils, Masson et Cie*, éditeurs. Paris.

Manuel pratique du monteur-électricien, troisième édition; par J. Laffargue. Un vol. in-16 de 670 pages. Bibliothèque des actualités industrielles. *Bernard Tignol*, éditeur. Paris.

Luce e Raggi Rœntgen; par Oreste Murani, préface du professeur R. Ferrini. Un vol. in-8° de 392 pages, avec 157 figures dans le texte et 15 planches détachées. *U. Hoepli*, éditeur. Milan.

NOUVELLES

Syndicat professionnel des industries électriques. — *Séance du 4 octobre* 1897. — La séance est ouverte à 4 heures sous la présidence de M. F. Meyer.

Membres présents : MM. Beau, Berne, Cance, Clémançon, Geoffroy, Harlé, Hillairet, Meyer, Mildé, Sartiaux.

Excusés : MM. Tricoche et Roux.

Lecture est donnée de la correspondance.

M. Eugène Mathieu, ingénieur constructeur à Reims, demande de bons ajusteurs électriciens pour la construction des appareils électriques.

M. Linet, à Aubervilliers, demande un bon électricien pour diriger ses dynamos.

M. Laffargue, au nom de la Fédération des Chauffeurs-mécaniciens, fait connaître le programme des onze cours d'électricité qui seront ouverts cet hiver, dans les différents quartiers de Paris, aux ouvriers désireux de s'instruire.

La Chambre félicite M. Laffargue et ses collègues du développement qu'ils ont donné à ces cours professionnels d'électricité qui rendent à notre industrie de très grands services, et vote à titre d'encouragement un crédit de 100 fr pour le cours de première année et un crédit de 200 fr pour celui de deuxième année.

Le Président communique à ses collègues les dispositions de l'arrêté rendu à la suite de plusieurs difficultés par M. le Préfet de la Seine, en vue d'appliquer les compteurs d'énergie aux dynamos fonctionnant chez les industriels abonnés aux combustibles, pour décompter les droits d'octroi perçus sur les charbons employés à produire la lumière électrique.

Cet arrêté évalue à 3 kg la quantité de charbon nécessaire à produire un kilowatt-heure, ce qui parait admissible avec les rendements actuels des chaudières, moteurs et dynamos.

M. Mildé fait remarquer que la nouvelle réglementation, conçue dans un sens plus libéral que l'ancienne, devrait aller encore plus loin, et lui permettre :

1° D'employer l'énergie électrique au transport de force pour actionner les différentes machines-outils de ses ateliers, cette énergie n'étant frappée d'aucune redevance.

2° D'employer l'énergie électrique à son éclairage (ateliers, bureaux, habitation), la consommation étant relevée par un compteur watts-mètre, et une redevance correspondant au droit plein sur les charbons étant due par hectowatt enregistré.

2° De fournir l'énergie électrique à ses voisins immédiats pour éclairage ou force motrice, cette fourniture étant contrôlée et enregistrée par un compteur watts-mètre spécialement établi à cet effet : une redevance spéciale serait payée par l'industriel au prorata des hectowatts fournis.

La Chambre, reconnaissant la justesse de ces observations, considère toutefois qu'il s'agit de cas d'espèce et qu'elle n'interviendra que pour appuyer les réclamations individuelles des intéressés qui demanderaient son concours.

Le Président communique le projet de loi qui vient d'être récemment distribué au Parlement sur les Distributions d'Énergie Électrique.

L'examen de ce projet est renvoyé à une séance ultérieure.

La traction électrique à Bruxelles. — Le gouverneur du Brabant a reçu dernièrement de la Société des tramways économiques une demande d'autorisation de modifier le système de traction sur les lignes suivantes qui lui sont concédées : Bourse-place-Stéphanie, Bourse-rue-d'Enghien, Bourse-Etangs-Noirs et extensions futures, Bourse-Jette-Saint-Pierre et Koekelberg et Bourse-place Saint-Josse.

Sur toutes ces lignes, la traction animale serait remplacée par la traction électrique partie aérienne

et partie souterraine. La demande sera soumise à la députation permanente.

La traction électrique à Cannes. — L'ingénieur civil de l'arrondissement de Grasse, M. Pellegrin, fait actuellement des conférences publiques sur la traction électrique, dans le but de faire connaître aux habitants de Cannes et de Grasse les avantages qui résulteraient de la création d'une ligne de tramways à traction électrique, mettant les deux villes en communication immédiate et peu coûteuse.

Ces conférences, dans lesquelles l'orateur ne peut qu'esquisser les avantages principaux d'un semblable mode de transport, sont reprises et détaillées minutieusement par d'autres ingénieurs qui mettent le public au courant des menus détails techniques qu'il est à même de comprendre.

Espérons que cette campagne aura pour conséquence la création de la ligne en question avant peu, car les adhérents sont déjà très nombreux.

La traction électrique à Cassel (Nord). — Un avant-projet de tramway à traction électrique, suivant la route nationale, a été dressé par les Ponts et Chaussées et soumis à la ville de Cassel, qui cherche maintenant à s'entendre avec un rétrocessionnaire avant de demander la concession à l'État.

La traction électrique au Creusot (Saône-et-Loire. — Une enquête vient d'être ouverte sur l'avant-projet d'une ligne de tramways à traction électrique, destinée à relier la ville du Creusot à celle de Montcenis. Les pièces du projet resteront pendant ce temps dans les deux villes, afin que les personnes intéressées puissent en prendre connaissance.

Les observations seront reçues et consignées sur le registre spécial dans le délai d'un mois.

La traction électrique à la Croix-Rousse-Perrache (Lyon). — Un groupe de commerçants de la rue Centrale, laquelle rue servirait d'itinéraire au tramway électrique allant de la Croix-Rousse à Perrache, viennent d'adresser au maire de Lyon une pétition ayant pour objet de s'opposer à ce que leur rue soit desservie par un tramway d'expérience.

Il est en effet question d'expérimenter sur cette ligne différents systèmes de prises de courant (fil aérien, conducteur souterrain, etc.) ce qui motivera, à chaque changement de système, un arrêt plus ou moins long de la circulation, avec toutes les conséquences qui en résulte au point de vue du trafic. C'est à quoi les commerçants de cette rue veulent s'opposer en adressant leur requête à qui de droit. Nous en ferons connaitre le résultat sous peu.

La traction électrique à Dorignies (Nord). — Par décret, est déclaré d'utilité publique l'établissement d'une ligne de tramways à traction électrique de Dorignies à Aniche, avec embranchements sur la gare du Nord, à Douai, et sur Sin-le-Noble. Cette ligne est destinée au transport des voyageurs sur toute son étendue et au transport des marchandises entre Douai et Aniche.

La construction de ce tramway a été concédée à la ville de Douai, et la rétrocession accordée à M. Faye par le Conseil général.

M. Faye a accepté la substitution de la voie normale (1,45 m), à la voie d'un mètre primitivement projetée.

La traction électrique à Dunkerque-Rosendaël. — La commune de Rosendaël projette l'établissement de deux lignes de tramways à traction mécanique ou électrique, l'une, de la limite de Dunkerque à la gare de Rosendaël ; l'autre, de la place de la Mairie à la place du Kursaal, à Malo-les-Bains.

Une demande de concession a été présentée avec un avant-projet. Ces lignes seraient rétrocédées jusqu'au 12 décembre 1919 (comme les tramways de Dunkerque) à M. Spilliaerdt.

L'enquête d'utilité publique a eu lieu du 1er mai au 1er juin 1897. La concession sera accordée par le département sans subvention ni garantie d'intérêts.

La traction électrique à Eu. — Nous avons dit récemment (*Supplément*, t. XII, p. LVII) que la Compagnie générale de Traction avait déposé un projet tendant à la création d'une ligne de tramways à traction électrique devant relier Eu au Tréport; la *Vigie*, de Dieppe, nous apprend aujourd'hui que la question est en bonne voie et recevra sans doute une solution prochaine.

Le projet est actuellement entre les mains de l'ingénieur en chef du département pour être revisé et modifié s'il y a lieu.

La traction électrique à Liège. — La Société anonyme des Tramways liégeois se propose, nous dit l'*Express*, de Liège, de prolonger la ligne de tramways électriques Herstaal-Wandre jusqu'à la commune de Vevegnis, qui se trouve à quelques kilomètres de Liège.

D'autre part, la même Société projette d'établir une autre ligne allant de la place Coronmeuse à Grivegnée (banlieue est) par le quai Saint-Léonard et Herstaal.

La traction électrique à Marseille. — Une Société vient, après trois ans de pourparlers, d'obtenir la concession d'une ligne de tramways électriques pour relier la rue Noailles, qui est le

prolongement de la célèbre Canebière à Marseille, à la gare principale ou gare Saint-Charles. La ligne suivra les boulevards Dugommier, du Nord, de la Liberté, constitués par des rampes moyennes de 3 cm par mètre, puis contournera les bâtiments des voyageurs, sur rampe de 4 cm, et redescendra par le boulevard de la Paix, en pente de 5 cm, avec retour par les voies précitées. La nouvelle ligne permettra, avant la création du réseau des tramways de la Compagnie générale avec traction électrique remplaçant la traction animale, de voir quelle sera l'influence des conducteurs d'énergie sur les circuits téléphoniques privés ou du réseau urbain.

La traction électrique à Monte-Carlo. — Une importante concession vient d'être accordée à M. H. Corvetto pour la création et l'exploitation, dans la principauté de Monte-Carlo, d'un réseau de tramways à traction électrique.

Déjà les formalités sont remplies et les travaux commencés. Le système de prise de courant est le système à contact superficiel de la Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston, déjà utilisé en Amérique par la General Electric Company.

La traction électrique à Montivillers (Seine-Inférieure). — La Compagnie des voies ferrées économiques à qui la concession de la ligne Montivillers-Le Havre a été récemment accordée, vient de traiter avec la Compagnie Thomson-Houston pour la fourniture du matériel moteur pour l'équipement des 20 voitures destinées à assurer le service sur cette ligne.

Le matériel générateur, composé également de dynamos Thomson-Houston, est actuellement en cours d'achèvement dans les ateliers Postel-Vinay.

La traction électrique à Nancy. — La Compagnie des tramways de Nancy a récemment entrepris de substituer la traction électrique à la traction animale sur tout son réseau.

Les travaux ont été entrepris dans les rues Saint-Georges et Saint-Dizier et sont poursuivis nuit et jour. On espère que de cette façon le trafic ordinaire ne sera pas longtemps entravé et que la substitution pourra être opérée avant peu.

La traction électrique à Oran. — Le concessionnaire des tramways électriques d'Oran, M. Fayes, a renvoyé au maire, qui l'a immédiatement transmis à la préfecture, le projet modifié conformément aux observations de la Commission d'enquête.

Le dossier est actuellement aux Ponts et Chaussées et dès qu'auront été approuvées par ce service, c'est-à-dire très prochainement, les légères modifications apportées au tracé, une nouvelle commission d'enquête sera convoquée.

La traction électrique à Perpignan (banlieue). — Le conseil général du département des Pyrénées-Orientales vient d'être saisi d'une demande en concession d'un réseau de tramways à traction électrique ou mécanique destiné à relier Perpignan à la banlieue.

Cette demande a été formulée par onze concurrents à la fois dont les noms suivent :

1. Demande Saunier, ingénieur civil à Paris, rue d'Amsterdam, 58.
2. Fournier, ingénieur; Ferret, ingénieur-architecte; Henrion Alexandre, ingénieur-architecte.
3. L. Larmoyer.
4. E. Carrot.
5. Tricoche, au nom de la Société d'éclairage électrique de Bordeaux et du Midi.
6. Lajeune-Vilar, Paris.
7. Laborie frères, ingénieurs-constructeurs, boulevard Saint-Germain 82, Paris.
8. P. et B. Durand, Lyon; Delclos, Perpignan
9. P. Biles, ingénieur-électricien, Chambéry.
10. Compagnie des chemins de fer du Périgord, M. de Waudre, directeur.
11. Costa, banquier à Perpignan, au nom d'une Société roussillonnaise.

La traction électrique à Roanne. — En raison des difficultés assez sérieuses que présente l'installation des lignes du nouveau réseau (*Supplément*, t. XII, p. LIII) dans certaines rues étroites de la ville, l'administration des Ponts et Chaussées a décidé qu'il y avait lieu de remanier le projet afin de le modifier si possible. C'est pourquoi nous dit le *Journal*, de Roanne, la question des tramways figure actuellement à l'ordre du jour des prochaines séances du conseil municipal.

La traction électrique à Sologne (Loiret). — Une enquête est actuellement ouverte pour la création d'une ligne de tramways à traction électrique ou mécanique devant desservir Sologne ainsi qu'un grand nombre de communes avoisinantes et les réunir à la ville d'Orléans.

Ce projet, nous dit un des journaux de la localité, ne semble pas être vu d'un très bon œil de la part des agriculteurs qui cependant auraient tout à gagner d'un semblable moyen de transport et de communication avec la métropole. Aussi, ajoute-t-il, les initiateurs feraient-ils bien d'entamer une série de conférences pour vaincre la coutume routinière du cahin-caha, encore si profondément enracinée chez les agriculteurs du département du Loiret.

La traction électrique à Spiez-Frutigen (Suisse). — On nous écrit qu'il vient de surgir un nouveau projet de percement des Alpes bernoises. Une demande en concession vient en effet d'être présentée pour un chemin de fer électrique dont l'itinéraire serait : Spiez-Frutigen Spitalmatte, sur la Gemmi, par un tunnel d'environ 900 m ; de là il suivrait le Daubensee jusqu'au sommet du col, où se trouve l'hôtel du Wildstrubel, si connu de tous les touristes. Il serait continué ensuite par un funiculaire jusqu'à la base des rochers à pic qui dominent Loèche-les-Bains, pour reprendre ensuite le système de voie étroite, comme sur le parcours bernois, jusqu'à la Souste. La longueur de cette ligne serait de 53,5 km ; les frais de premier établissement sont évalués à 9 731 500 fr. La demande est formulée par MM. Kern et Flotron, de Meiringen. Loèche-Ville demande un tarif réduit comme il est en vigueur sur le Viège-Zermatt pour les habitants de la vallée, ensuite une gare à Loèche même. Les autres communes intéressées ne font pas d'opposition.

Ajoutons, de plus, que les trains circuleront d'un bout de l'année à l'autre.

La traction électrique à Vallauris (Alpes-Maritimes). — Dans sa dernière séance, le conseil municipal de Vallauris a décidé qu'il y avait lieu de trancher une question depuis longtemps trainante, celle du réseau de tramways qui doit relier Vallauris au Golfe-Juan, à Cannes et à Antibes.

Après une chaude discussion, l'accord a pu enfin s'établir sur tous les points, et la concession a été définitivement accordée à la Société l'Omnium Gonnais, qui sera ainsi chargée de l'exploitation de tout le réseau régional.

Comme clauses principales du traité et du cahier des charges approuvés par le Conseil, nous relevons les points suivants :

La commune n'aura à donner aucune subvention ni garantie d'intérêt, les travaux d'amélioration de la route seront entièrement à la charge du concessionnaire. Le point de départ aura lieu à Vallauris, sur la place, aux abords de l'hôtel de ville, pour aboutir à la gare de Golfe-Juan.

Il y aura un minimum de dix départs par jour dans chaque sens. Le prix des places est fixé à 15 centimes pour descendre de Vallauris au Golfe, et à 20 centimes pour remonter du Golfe à Vallauris.

Le trajet sera divisé en deux sections par le grand Pont. Le prix pour chaque section séparément sera de 10 cent.

La municipalité a demandé en outre que des trains à prix réduits soient établis le matin et le soir pour le transport des ouvriers.

Le réseau devra être livré à la circulation neuf mois au plus tard après le décret déclaratif d'utilité publique.

La traction électrique aux États-Unis. — Plusieurs compagnies, parmi lesquelles la Compagnie de tramways électriques de San-Francisco, viennent d'appliquer à leurs tramways un système qui permet de transporter facilement les bicyclettes. A l'avant et à l'arrière du tramway, on dispose des bras où vient s'accrocher le cadre des bicyclettes. Chaque système de bras est disposé pour porter deux bicyclettes. La redevance payée est de 25 centimes par roue ; de sorte qu'une bicyclette ordinaire coûte à transporter 50 centimes. L'une des compa-

gnies qui emploient ce système a transporté pendant quatre mois, de février à mai, 2 357 bicyclettes. On voit que le bénéfice qui en résulte est loin d'être négligeable. Les Américains, en gens pratiques, utilisent également l'avant et l'arrière du tramway pour placer des réclames qui ont trait spécialement aux divertissements du jour et qui sont toujours libellées d'une façon originale et emphatique. Ces réclames sont changées très souvent. Les compagnies tirent de ce procédé un bénéfice très rémunérateur, qui est le but cherché.

— On peut dire que les Américains détiennent actuellement le record de la rapidité dans la construction des voies pour tramways électriques. A Chicago, une compagnie était menacée d'une opposition légale de construction, si dans un délai très court elle n'avait pas terminé son travail. La Compagnie ne se le fit pas répéter deux fois, elle mit 300 hommes sur son chantier et 1 600 m de voie furent complètement établis et équipés, prêts à être livrés à l'exploitation, en 12 heures et 53 minutes. Les fils aériens furent placés en 10 heures et 25 minutes. On pourrait donner cet exemple aux sociétés françaises qui mettent souvent une année à établir un tramway électrique de quelques kilomètres de longueur.

L'éclairage électrique à Paris. — On annonce qu'en dehors de la discussion du budget, le conseil sera saisi de plusieurs questions qui intéressent à un très haut point la population parisienne. Il aurait à s'occuper, notamment, de l'entente à établir entre la Ville et les Compagnies concessionnaires de l'exploitation des secteurs d'électricité. L'entente est faite dès à présent entre la commission du conseil et les compagnies, sur les avantages à accorder à celles-ci en échange d'une réduction du prix de l'éclairage électrique, éclairage dont le prix serait mis à la portée de la bourse de tous les consommateurs. Le conseil, pénétré des avantages que retirerait de cette réduction la population parisienne, paraît dès à présent disposé à donner son approbation au projet. Ce serait là de la bonne politique ; le conseil ne la pratique que trop rarement pour qu'on ne lui sache pas gré de ses bonnes intentions dans la circonstance.

Nous croyons intéressant de rappeler ici que l'autorisation d'établir dans le sous-sol des voies publiques de Paris des canalisations destinées à l'installation de l'éclairage électrique fut accordée, par le conseil municipal, à six compagnies dont le rayon d'action est un secteur de cercle qui prend naissance au centre de la ville et s'élargit progressivement jusqu'aux fortifications. Cette autorisation, valable pour dix-huit années, expire en 1906, c'est-à-dire en même temps que vient à terme le privilège de la Compagnie du gaz.

Nos lecteurs savent que ces compagnies sollicitent depuis longtemps une prolongation de délai ; elles disent qu'elles ont accepté en 1888 une période aussi courte parce qu'on leur avait fait espérer qu'elle pourrait être prolongée ; qu'en dix-huit années il leur est déjà difficile d'amortir leur capital de premier établissement, et que, si leur requête n'est pas accueillie, elles doivent renoncer à créer de nouvelles canalisations.

Cette demande a été soumise à la 1re commission du conseil municipal, et nous avons sous les yeux l'exposé très documenté que son rapporteur, M. Ch. Bos, vient de soumettre à ses collègues. Les conclusions sont favorables à l'acceptation, en principe, de la demande des sociétés pour les motifs suivants :

1° La durée des concessions accordées aux sociétés d'électricité par les villes de France et de l'étranger varie entre trente et quarante-deux ans ; celle des sociétés parisiennes n'est que de dix-huit années.

Il est bien certain que, si la ville de Paris a voulu que ces autorisations prissent fin en 1907 et en 1908, c'est qu'elle a été guidée par cette double raison qu'il fallait au moins dix-huit ans pour que les sociétés pussent amortir, et que, devant être la maîtresse du monopole du gaz en 1906, elle ne pouvait admettre que des entreprises privées fissent une concurrence sérieuse aux divers systèmes d'éclairage qu'elle exploiterait ;

2° Reste à savoir si, avec une prolongation consentie aux sociétés d'électricité, la ville de Paris sera en mesure de supporter leur concurrence.

Le rapporteur n'hésite pas à l'affirmer : en 1908, quand elle produira elle-même l'énergie électrique, elle se trouvera dans une situation telle-

ment particulière qu'il lui sera possible de fabriquer cette énergie à un prix de revient extrêmement bas en utilisant, par exemple, les quantités énormes de chaleur qui se perdent dans les usines à gaz. L'important est que la réserve municipale d'un mètre existe à ce moment dans toutes les voies publiques de Paris; il est donc de toute nécessité que les autorisations d'établir des canalisations sur la réserve municipale et dans certaines voies du centre ne soient pas renouvelées en 1907 et en 1908. La prolongation ne devra jamais s'appliquer à ces autorisations.

3° Enfin, M. Ch. Bos estime que, s'il y a lieu de développer dans Paris les utilisations diverses de l'énergie électrique d'ici à 1907 et 1908, la prolongation ne peut être accordée aux sociétés d'électricité qu'à de certaines conditions à déterminer au cours des négociations qui seront entamées avec leurs représentants.

Les sociétés d'éclairage électrique accepteraient le prix de 10 centimes par kilowatt-heure au lieu de 15.

La 1re commission se réunira prochainement en séance plénière pour examiner les conclusions de la sous-commission.

L'éclairage électrique à Douai. — Les berges du canal, de même que les ponts, qui étaient éclairés à l'électricité, ne le seront désormais plus, car, si nous en croyons l'*Écho douaisien*, la municipalité ayant jugé que cet éclairage était trop dispendieux, vient de procéder à la mise en vente des installations complètes. Ces dernières se composent d'un moteur à vapeur, dynamos, circuits et lampes à arc avec leurs supports.

Cette décision a naturellement soulevé quelques protestations de la part des riverains, protestations qui n'ont pu lutter avec l'argument administratif des « intérêts de la ville », que la municipalité, aidée du service des Ponts et Chaussées a mis en jeu.

L'éclairage électrique à Limoges. — Les travaux de construction de l'usine sont aujourd'hui terminés, et l'on peut dire sans exagération que celle-ci est magnifique. Elle occupe, comme on sait, un vaste emplacement sur le bord de la Vienne, à côté du pont Saint-Étienne, et elle ressortira davantage encore d'ici quelque temps. Ce vieux quartier, en effet, est couvert actuellement d'anciennes et laides bâtisses, mais celles-ci vont bientôt disparaître pour faire place à de larges quais, et cette partie de la ville, pour l'instant assez mal partagée, en deviendra l'une des plus belles. Il en résultera nécessairement pour le quartier une plus-value qui profitera toujours à la Compagnie, en augmentant la valeur de son immeuble.

En ce qui concerne la machinerie, les trois grandes chaudières sont arrivées, et sont actuellement en cours de montage. Elles ont été fournies par la Société de construction de Belfort.

Les massifs destinés à recevoir les deux groupes de machines à vapeur et de dynamos sont également prêts, et le premier de ces groupes est parti depuis plusieurs jours des ateliers de la Société de construction de Belfort.

En même temps qu'on travaille ainsi avec la plus grande activité à l'installation de l'usine, on a construit les postes des transformateurs à placer sur un certain nombre de points (*Supplément*, t. XII, p. XLVI) pour la transformation des courants à haute tension, et l'on a commencé les tranchées dans les rues. Dans plusieurs rues les fils eux-mêmes sont posés.

En sorte que, avant la fin de l'année, la Compagnie pourra fournir aux habitants la lumière et la force.

On avait, un instant, eu la pensée de commencer à fonctionner plus tôt, au moyen de machines provisoires. Il avait même été question de produire ainsi de l'énergie dès le mois de mai. Mais soit à la Ville, soit à la Compagnie, l'on a reconnu l'inutilité d'aller aussi vite et d'imposer, par suite, à l'entreprise une dépense qu'aucun avantage bien réel ne fût venu compenser. On a donc mieux aimé ne procéder qu'à l'installation définitive, qui du reste ne se sera pas fait attendre, puisque en moins d'un an — la création de la Compagnie ne remonte qu'au mois d'octobre dernier (Voir *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 522, 12 déc. 1896) — une ville de l'importance de Limoges se trouvera dotée d'un centre électrique suffisant pour faire face, pendant quelque temps, aux premiers besoins de la consommation.

L'éclairage électrique à Lyon. — Le développement constant de l'éclairage électrique et ses avantages faisaient désirer son installation dans toute l'étendue de la ville de Lyon, mais le monopole exclusif de l'éclairage accordé à la Compagnie s'opposant à la réalisation de ce désir, un commencement de conflit s'était manifesté entre la ville et l'entreprise ; celle-ci était menacée dans le renouvellement de sa concession et celle-là ne pouvait, avant 1904, terme de la concession, installer dans ses rues l'éclairage électrique.

C'est dans ces conditions qu'est intervenu un accord entre le Conseil municipal et la Compagnie du gaz de Lyon, prolongeant le contrat de la Société pendant une nouvelle période de quarante années, à partir de 1904, abaissant le prix du gaz de 28 centimes et demi à 20 centimes, à dater de l'approbation officielle de la nouvelle convention, et assurant liberté complète pour l'éclairage électrique.

Le Conseil d'administration, dans son rapport, dit que si, dans un intérêt général, la Compagnie du gaz a abandonné son privilège exclusif de la lumière, elle entend bien, elle-même aussi, profiter de la liberté qu'elle donne aux autres, et qu'en conséquence elle se propose de développer beaucoup son organisation de production de lumière électrique.

SOMMAIRES DES PÉRIODIQUES

The Electrician, t. XXXIX, n° 26 (Londres, 22 octobre 1897). — Facteurs de détermination du rendement de l'arc à courant alternatif; W.-B. Burnie. — Quelques expériences sur l'arc à courant alternatif; C.-F. Smith. — Propriétés ferromagnétiques du fer et de l'acier; J.-A. Fleming.

The Electrical Review, t. XLI (Londres, 22 octobre 1897). — Effet de la température sur les propriétés magnétiques du fer. — Moteur à vapeur pour station centrale d'éclairage électrique; John Davidson. — L'électricité musculaire (*suite*); J. Wright. — Détermination des enroulements en série pour les dynamos compound; L.-H. Fry. — Les courants electriques terrestres au point de vue astronomique; A.-E. Cotterell.

Engineering, t. LXIV, n° 1660 (Londres, 22 octobre 1897). — La traction électrique sur les canaux (*suite*).

The Electrical World, t. XXX, n° 15 (New-York, 9 octobre 1897). — La station centrale et la transmission de l'énergie à distance de la Chambly manufacturing Company. — La station hydraulique des Trois Rivières, à Québec. — La station centrale de Mechanicsville (N. Y.). — Emploi de l'électricité comme force motrice dans les imprimeries et ateliers de reliure; R.-R. Bishop. — Types de machines pour le couplage par courroies : moteurs, dynamos, etc.; S. Wheeler.

The Electrical Engineer, t. XXIV (New-York, 7 octobre 1897). La nouvelle station centrale à vapeur, de 70 000 chevaux, de la Metropolitan street Railway Company, à New-York. — Construction mécanique des tramways en Europe; G.-H.-B. Zahn. — Les lampes à arc et leur mécanisme; H.-F. Watts. — Construction moderne et entretien des lignes de tramways; W. Brophy.

Elektrotechnische Zeitschrift, n° 42 (Berlin, 21 octobre 1897). — Théorie et emploi du phasemètre (*suite*); J. Teichmuller. — Horloge électrique pour signaux; W. Elsaesser. — Notes sur le montage d'un élément au cadmium; W. Jaeger. — Sur une modification à la méthode de Joubert, permettant de constater les passages périodiques d'un courant alternatif dans un conducteur; W. Kubler.

Zeitschrift für Elektrotechnik, n° 20 (Vienne, 15 octobre 1897). — Sur la force électromagnétique; M. Reithoffer.

Zeitschfrift für Elektrochemie, n° 8 (Halle, 20 octobre 1897). Sur la résistance électrique des métaux; C. Liebenow.

Atti della Reale Accademia dei Lincei, t. VI, fasc. 7 (Rome. 3 octobre 1897). — Conductibilité électrique de quelques bases à fonctions mixtes et de leurs chlorhydrates; Carrara et Rossi.

BREVETS D'INVENTION

Liste communiquée par l'Office E. Barrault, 58 bis, *rue de la Chaussée-d'Antin, Paris.*

267 279. **Duque.** 25 mai 1897. — Support pour récepteurs d'appareils téléphoniques.

267 285. **Packard.** 25 mai 1897. — Perfectionnements apportés aux compteurs de courants électriques alternatifs.

267 312. **Jansen.** 26 mai 1897. — Procédé et appareil pour éviter la contagion dans l'emploi du téléphone.

267 315. **Schonau.** 26 mai 1897. — Isolateur à clavettes pour fils électriques.

267 354. **Bowen.** 28 mai 1897. — Perfectionnements dans les filaments pour lampes électriques à incandescence.

267 362. **Société Rudolf Kissling et fils.** 28 mai 1897. — Commutateur central pour lustres et autres groupements de lampes électriques.

253 372. **Mouterde.** 29 mai 1897. — Certificat d'addition au brevet pris le 23 janvier 1896 pour accumulateur électrique.

267 388. **Dujardin.** 29 mai 1897. — Perfectionnements dans les accumulateurs électriques.

267 414. **Lentschat et la Société Industriewerke Kaiserslauten metal und Porzellan-Fabrikation Gesellschaft mit Beschrankter Haftung.** 29 mai 1897. — Élément de pile.

267 444. **Société Hartmann et Braun.** 31 mai 1897. — Système de production d'un flux de force magnétique avec décalage de phase de 90° ou plus par rapport au courant d'aimantation.

267 485. **Cutler.** 1er juin 1897. — Système de régulateur perfectionné avec interrupteur automatique pour moteurs électriques.

267 492. **Société industrielle des téléphones.** 1er juin 1897. — Système de transmission à courants dédoublés, applicable à la télégraphie sous-marine (*système Ader*).

267 501. **Société Gillet et fils.** 8 juin 1897. — Eclairage électrique de secours.

267 512. **Hummel.** 2 juin 1897. — Instrument destiné à compter les ampères-heures.

267 516. **Collongues.** 2 juin 1897. — Système d'appareil télégraphique perfectionné pour la reproduction de l'écriture, des plans, dessins, etc.

267 529. **Société anonyme de Commentry-Fourchambault.** 2 juin 1897. — Système d'appareils magnéto-thermiques.

267 552. **Société dite Gluhlampen-Fabrik Gebruder Pintsch.** 3 juin 1897. — Système de filament de charbon tubulaire pour lampes électriques à incandescence et son procédé de fabrication.

267 567. **Henrion.** 9 juin 1897. — Perfectionnements apportés aux lampes à arc.

255 583. **Schmidt.** 28 mai 1896. — Certificat d'addition au brevet pris le 15 avril 1896 pour modifications aux piles galvaniques.



L. DESRUELLES

INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR

PARIS, 22, rue Laugier, PARIS

VOLTS-MÈTRES & AMPÈRES-MÈTRES

APÉRIODIQUES, SANS AIMANT

Système breveté S. G. D. G. — Dispositif entièrement nouveau

Envoi franco du tarif sur demande.

SOCIÉTÉ POUR L'EXPLOITATION

de la Lampe à arc

LA MODERNE

à traction magnétique

sans aucune roue dentée, rochet et cliquet

SYSTÈME F. KLOSTERMANN

(BREVETÉ 1894)

123 — rue Saint-Maur — 125

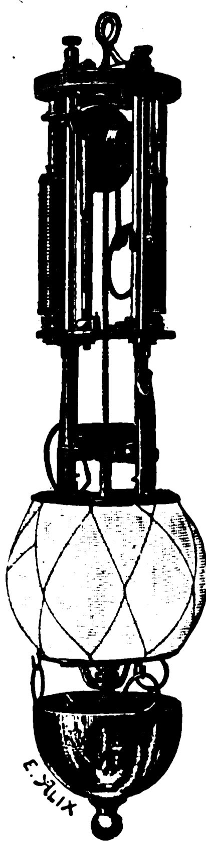
PARIS

LA MODERNE se recommande par sa simplicité, sa construction robuste, son peu de volume et son prix modique.

Construction, Réglage et Débit (depuis 2 amp.) **garantis.**

SEULE MAISON ayant le droit d'Exploitation *de la Lampe à arc voltaïque* Système F. KLOSTERMANN, breveté 1890, dite

LAMPE PUTEAUX



SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE

L'ACCUMULATEUR TUDOR

Société Anonyme. Capital : UN MILLION

Siège social : 19, rue de Rocroy, Paris

USINES : 39 et 41, route d'Arras, LILLE

BUREAUX TECHNIQUES

11, rue Alsace-Lorraine, Rouen ; 106, rue de l'Hôtel-de-Ville, Lyon

ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE

Tudor Paris, Tudor Lille, Tudor Rouen
Tudor Lyon

Bacs en verre spécial

Moulé pour accumulateurs, brevet Appert

Sans frais de moules pour commandes importantes

MOULAGES EN VERRE POUR L'ÉLECTRICITÉ

Plaques inaltérables de 10 à 35 mm. d'épaisseur en verre blanc dit

OPALINE, ***brevetée s. g. d. g.***

Société de SAINT-GOBAIN, CHAUNY et CIREY

9, *rue Sainte-Cécile, PARIS.*

COMPAGNIE FRANÇAISE

POUR LA

Pulvérisation des Métaux

25, rue des Mathurins

PARIS

ÉLÉMENTS A CHARGE rapide



ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES

A LA POUDRE DE PLOMB (sans oxydes)



Types Transportables pour Eclairage et Traction

NOUVELLES

Syndicat professionnel des industries électriques. *Séance du 3 novembre* 1897. — La séance est ouverte à 5 heures sous la présidence de M. F. Meyer.

Membres présents : MM. Bancelin, Bernard, Berne, Bernheim, Cance, Ducretet, Ebel, Harlé, Hillairet, Meyer, Portevin, Radiguet, Sartiaux, Sciama.

Est admis comme membre adhérent du Syndicat, M. Larnaude, fabricant de lampes à incandescence, aux Moulineaux, présenté par MM. Huguet et Hillairet.

Le Président communique une lettre du Comité franco-italien pour l'Exposition de Turin 1898, exprimant son regret de la décision prise par le Syndicat des industries électriques dans sa séance du 6 juillet 1897, de s'abstenir d'inviter ses adhérents à figurer à Turin. La chambre décide de faire figurer cette observation à son procès-verbal pour signaler l'intérêt que pourra présenter cette exposition.

Le Syndicat professionnel des usines d'électricité a adressé une lettre au Président, lui demandant son concours pour la formation d'une commission mixte composée de membres pris dans les deux syndicats. Cette commission aurait pour objet d'établir une réglementation pour la pose des sonneries électriques, dont les conducteurs, souvent mal posés et mal isolés, en contact avec les tuyaux d'eau et de gaz, peuvent occasionner des accidents.

Après une discussion à laquelle prennent part MM. Bénard, Radiguet, Hillairet, la chambre pense que les malfaçons dans l'établissement de ces conducteurs rentrent dans le droit commun, et qu'il incombe aux architectes de vérifier la bonne qualité et le bon emploi des matériaux. Aujourd'hui que la pose des sonneries peut être faite par des ouvriers quelconques, et que tous les magasins de quincaillerie tiennent ces articles à bon marché, il paraît illusoire d'essayer une réglementation. Aussi, la chambre, tout en remerciant le Syndicat professionnel d'avoir bien voulu s'adresser à elle pour une action commune, estime qu'il n'y a pas lieu de l'exercer dans l'espèce.

Le Syndicat des compagnies d'assurances à primes fixes contre les accidents, appelle l'attention de notre Syndicat sur la gravité de la loi relative aux accidents du travail qui a été adoptée par la Chambre des Députés. Cette loi s'appuie, en effet, sur un principe nouveau : l'assurance obligatoire. Ce Syndicat prévoit que les pouvoirs publics n'en resteront pas là, et que l'Etat, s'immisçant de plus en plus dans les affaires privées, sera un obstacle croissant au développement de l'initiative privée et par suite à la richesse nationale qui en résulte.

En considérant la question à un point de vue plus général que celui du Syndicat des compagnies d'assurances, la chambre pense qu'il y a lieu d'étudier les termes d'une protestation à présenter aux pouvoirs publics; mais dans le but d'arriver à un résultat plus efficace, il y a lieu de s'entendre avec les divers groupements des chambres syndicales : l'Union, le Comité central, etc., pour présenter une protestation collective, résumant les revendications du plus grand nombre de chambres syndicales des industries les plus diverses.

M. Harlé indique les points sur lesquels ces protestations devront porter ; tels que la preuve à faire par le patron que la cause de l'accident est due à une négligence ou à une faute lourde de l'ouvrier, etc.

La chambre décide de faire le nécessaire pour s'entendre avec les divers groupements indiqués plus haut, pour donner à cette protestation la forme la plus convenable en vue d'obtenir un résultat utile aux intérêts de l'industrie tout entière.

Le Président a reçu une lettre de M. Guillain, député, rapporteur du projet de loi déposé par le gouvernement, relatif à la réglementation des distributions publiques d'énergie, qui demande à ce sujet l'avis de notre Syndicat. Il est donné lecture à la chambre de ce projet. M. Sciama, rappelant la loi de juin 1895 sur les canalisations électri-

ques, établit la distinction qu'il y a lieu de faire entre les divers points visés et les juridictions compétentes pour les appliquer. Il rappelle que pour les décisions à prendre sur les questions techniques il y a lieu pour le gouvernement de demander l'avis du Conseil supérieur d'électricité créé pour cet objet. La chambre charge le Président, assisté de MM. Fontaine et Hillairet, de faire une visite à M. Guillain, et d'insister pour faire saisir le Comité supérieur d'électricité de l'étude du projet présenté par le gouvernement.

M. Harlé demande à la chambre de désigner des candidats aux élections consulaires; la chambre invite les candidats à se faire connaître au plus tôt pour que leur présentation puisse être faite en temps utile.

L'ordre du jour étant épuisé, la séance est levée à 6 heures et demie.

SOMMAIRES DES PÉRIODIQUES

L'Industrie électrique, n° 142 (25 novembre 1897). — Nouvelle locomotive électrique de M. J.-J. Heilmann; E. Hospitalier. — Une méthode simple de démarrage des moteurs électriques asynchrones à courant alternatif simple; Riccardo Arno. — Un transformateur électrochimique de courants alternatifs en courant redressé; E. H. — La distribution de l'énergie électrique à Vienne; P. G. — Lampe à arc à courant alternatif: J. L.

L'Electricien, t. XIV, n° 361 (27 novembre 1897). — Lampe à arc en vase clos, système Marks; E. Pierard. — Rappel des bureaux télégraphiques secondaires desservis par un même conducteur (*suite*); L. Montillot. — Le torpilleur sous-marin *Le Holland;* G. Dary. — L'électrochimie et l'électrométallurgie depuis vingt-cinq ans; E. Andréoli. — Sur une nouvelle méthode pour l'étude des dynamos, d'après Arnold (*suite*); E.-J. Brunswick.

Annales télégraphiques, 3e série, t. XXIII (septembre, octobre 1897). — Note sur le service téléphonique en Allemagne (*suite*); M. Cailho. — Télescripteur Hoffmann; J. Voisenat. — Note relative aux propriétés électriques des câbles souterrains isolés au papier et à l'air sec; P. Heina. — Les montres aimantées; J.-B.-P.

Revue municipale n° 4 (20 novembre 1897). — L'électricité à Paris; Charles Bos.

Revue des transports parisiens n° 8 (15 novembre 1897). — Moteurs pour chemins de fer et tramways électriques (*suite*) Ed. B.

The Electrician, vol. XL, n° 5 (Londres, 26 novembre 1897). — Notre connaissance de la valeur d'une résistance; W.-E. Ayrton. — Sur une détermination de l'ohm faite en essayant l'appareil de Lorentz à l'université de Mac-Gill à Montréal; W.-E. Ayrton et J. Viriamu Jones. — Monte-charge et grues électriques (*suite et fin*); H. W. Ravenshaw. — L'automobile électrique Headland. — Le procédé Voltex de soudure et brasure. — Récents développements des stations de force électrique dans les ateliers de construction. — Traction par accumulateurs sur voies ferrées et routes ordinaires. — Discussion. — Voitures électriques de route. — Méthodes d'essai à l'usage des ingénieurs télégraphistes (*suite*); J.-E. Young. — Station d'électricité à Torquay.

The Electrical Review, t. XLI, n° 1044 (Londres, 26 novembre 1897). — Capacité des câbles sous-marins. — Voiture à trôlet pour route. — Electricité musculaire (*fin*); J. Wright. — Courants terrestres électriques au point de vue astronomique; A.-E. Cotterell. — L'emploi des accumulateurs dans les stations centrales de tramways électriques. — Une méthode simple de démarrage des moteurs électriques asynchrones à courant alternatif simple; Riccardo Arno. — Le procédé Voltex de soudure électrique.

Engineering, vol. LXIV, n° 1664 (Londres, 19 novembre 1897). Traction électrique par accumulateurs. — T. XIV, n° 1665 (Londres, 26 novembre 1897). — Les automobiles en France.

Industries and Iron, t. XXIII, nos 1296, 1297 (Londres, 12 et 19 novembre 1897). — Lampe à 220 volts J.-D. Shepardson. — Traction par accumulateurs sur voies ferrées et routes ordinaires; Epstein. — La distribution de la puissance et l'emploi des transmissions à courants polyphasés pour la traction électrique; Maurice Hoopes. — Détermination de l'ohm; W. Ayrton et J. Jones. — T. XXIII, n° 1298 (Londres, 26 novembre, 1897). — L'éclairage électrique à Bruxelles. — Tramways. — Influence des déformations mécaniques sur

le fer et l'acier, mesure de ces déformations par la thermo-électricité (*fin*); C.-A.-P. TURNER. — Application des batteries d'accumulateurs à la traction électrique; Ch. HEWITT.

The Electrical World, vol. XXX, n° 20 (New-York, 13 novembre 1897). — Les avantages de la distribution électrique dans les chantiers de marine; O.-G. DODGE. — Une ancienne fabrique de dynamos et station de force. — Mesure de la conductibilité au moyen d'un pont à lecture directe; E.-G. WILLYOUNG et H.-P. HARTH. — Machines à courant alternatif (*suite*); E.-J. HOUSTON et A.-F. KENNELLY. — Etude de l'isolement électrique (*suite*); F.-W. PHISTERER. — La transmission de force de Mechanicville-Shenectady; C.-P. STEINMETZ.

Street Railway Journal, t. XIII, n° 11 (New-York-Chicago, novembre 1897). — Quelques-unes des difficultés qui existent dans la construction et l'installation de tramways électriques; G.-W KNOX. — L'application de l'accumulateur à la traction électrique; Charles HEWITT. — Distribution d'énergie et emploi de transmission de courant triphasé dans le service des tramways ordinaires; Maurice HOOPES. — L'application de l'électricité aux lignes marchant actuellement à la vapeur; N.-H. HEFT.

Elektrotechnische Zeitschrift, n° 46 (Berlin, 18 nov. 1897). — Transformaleur de phase de Ferraris-Arno; L. LOMBARDI. — Disposition de distribution téléphonique publique; J.-H. WESL. — N° 47 (Berlin, 25 novembre 1897). — Mesures photométriques sur la lampe à arc à courant alternatif; W. WEDDING. — La nouvelle station centrale pour route à New-York. — Localisation des défauts d'un câble sous-marin par la méthode du pont; A. C.-W. SCHAEFER.

Zeitschrift für Elektrotechnik, t. XXII (Vienne, 15 novembre 1897). — Le développement du système multiple dans les grands centres téléphoniques (*suite*). — Une disposition simplifiée de cabines téléphoniques. — Nouvelle enveloppe protectrice pour transformateur; SCHREIBER.

Elektrotechnische Rundschau, n° 4 (Francfort, 15 novembre 1897). — Sur les phénomènes dans les appareils d'induction. — Une méthode de mesure du coefficient de self-induction d'un conducteur; THIERMANN.

Atti della Reale Accademia dei Lincei, vol. VI, fascicule 9 (Rome, 7 novembre 1897). — Nouvel indicateur d'ondes électriques; RIGHI.

Il nuovo Cimento, série 4, t. VI (Pise, octobre 1897). — Sur un système dicyclique imparfait qui représente une couple de circuits munis d'induction et de capacité; A. GARBASSO. — Sur la capacité de polarisation des feuilles métalliques très minces; G.-P. GRIMALDI et G. PLATANIA. — Sur le passage de l'électricité à travers des interruptions extrêmement petites; E. SALVIONI. — Si les rayons X existent déjà dans le faisceau cathodique qui les produit; A. ROÏTI. — Sur le phénomène de Hall dans les liquides; F. CHIAVASSA.

L'Elettricita, n° 45 (Milan, 7 novembre 1897). — La station centrale d'électricité de Florence. — Note sur la marche stable et instable d'un moteur synchrone; W.-S. FRANKLIN. — N° 47 (Milan, 21 novembre 1897). — Le système de traction électrique à courant superficiel de la General Electric Company; G. MOTTA. — Mesure du retard de vitesse d'un moteur asynchrone polyphasé. — La distribution électrique de la Société Edison à Milan.

BREVETS D'INVENTION

Liste communiquée par l'Office E. Barrault, 58 bis, *rue de la Chaussée-d'Antin*, *Paris*.

255 696. **Champion**. 26 juin 1897. — Certificat d'adduction au brevet pris le 20 avril 1896 pour système et dispositifs d'illumination électrique pour lampe à incandescence, dit : *La Champion électrique illumination.*

261 534 **Heinemann et Schafer**. 23 juin 1897. — Certificat d'addition au brevet pris le 23 novembre 1896 pour élément d'accumulateur avec application du charbon de bois comme absorbant de l'électrolyse.

OUVRAGES REÇUS

Il est donné un compte rendu bibliographique de tout ouvrage dont **deux** *exemplaires sont envoyés à la Rédaction.*

Instruments et méthodes de mesures électriques industrielles; par Armagnat, chef du bureau des mesures électriques des ateliers Carpentier. 1 fort vol. in-8° carré de 586 pages avec de nombreuses figures et dessins, cartonné à l'anglaise. Prix : 12 fr. *Georges Carré et C. Naud*, éditeurs, 3, rue Racine, Paris.

Constantes physicochimiques, par SIDERSKY. Un volume de l'Encyclopédie des Aide-mémoire. *Gauthier-Villars et fils, Masson et Cie*, éditeurs.

NOUVELLES

Varia. — L'éclairage électrique des quais de débarquement dans les ports préoccupe bien des villes : à ROUEN le transit a été augmenté considérablement par l'amélioration de l'éclairage du port.

A GAND les habitants réclament l'électricité pour éclairer l'Avant-port ; en effet, dans la crainte des accidents pour leurs ouvriers, plusieurs corporations n'osent plus procéder le soir au déchargement des vapeurs, et ceci entraîne un retard dans l'expédition des steamers.

— Aux environs de LAVAL, les catacombes de Saint-Callixte ont été éclairées à l'électricité par les soins des Pères Trappistes. Les bougies fumeuses ne détruiront plus les peintures qui couvrent les murs et les salles.

— LA CHINE, si rebelle à la civilisation européenne, se laisse entamer. L'électricité pénètre dans le Céleste-Empire. Une société chinoise vient de se former pour l'installation de la lumière électrique à Hang-tchoou, la capitale de la province de Kiang-si. De même aussi, on a commencé l'établissement d'une usine d'électricité à Han-koou, sur le Yang-tse-Kiang. Dans la province de Hu-nan, si hostile aux Européens, la ville de Tchang-cha, sur le Siang-kiang emploie le courant électrique non seulement pour l'éclairage public, mais encore pour les particuliers.

— La *traction électrique* a été inaugurée à ALEXANDRIE par le khédive. Il a voulu, pour s'assurer du bon fonctionnement des appareils, diriger lui-même la manœuvre de la première voiture. Voilà un bel exemple des soins paternels dont certains souverains entourent leurs sujets.

— On s'occupe beaucoup en ce moment des projets de construction et d'exploitation du chemin de fer à traction électrique destiné au transport des visiteurs dans l'enceinte de l'EXPOSITION de PARIS en 1900 ; et dans un précédent numéro de *L'Éclairage Électrique*, p. 418, il est parlé du projet de double plateforme électrique de MM. Blot, Guenet et de Moytcomble.

Les différents entrepreneurs ont jusqu'au 31 décembre pour établir leur concours. Le cahier des charges est rigoureux et l'exécution nécessitera de grandes dépenses. Il s'agit d'un gros capital engagé pour une exploitation de six mois seulement.

Mais l'administration de l'Exposition est convaincue que le concours n'en sera pas moins des plus brillants et qu'il se fera dans des conditions fort avantageuses pour elle. Selon les renseignements qui lui sont parvenus, certains grands établissements seraient disposés à ne pas rechercher, dans cette opération, des bénéfices pécuniaires, mais plutôt un bénéfice moral.

— A CLERMONT-FERRAND, pendant la nuit du 24 au 25 novembre, trois fils télégraphiques se sont brisés et sont tombés sur le fil conducteur aérien des tramways électriques.

Lorsque, le lendemain matin, vers six heures, les dynamos de l'usine génératrice ont été mises en marche, le courant électrique a suivi les fils téléphoniques et a communiqué le feu à la tourelle où aboutissent les fils du réseau téléphonique urbain. Tout le service téléphonique urbain de Clermont-Ferrand est détruit. Les circuits interurbains n'ont pas été atteints.

— Aux environs d'ESTAGEL, le 29 novembre, au soir, plusieurs poteaux servant à soutenir les fils électriques de l'Union électrique ont été renversés sur la route par la violence du vent. Deux gendarmes revenant à cheval ont été atteints par les fils conducteurs. Un cheval a été foudroyé, l'autre a pris peur et a désarçonné son cavalier. Ce dernier est légèrement blessé. L'Union électrique a interrompu aussitôt le courant, jusqu'à ce qu'on ait pu relever les fils.

Congrès international de navigation, Bruxelles, 1898. — Ce congrès aura lieu en juillet. Parmi les

questions mises à l'ordre du jour, nous relevons les suivantes qui intéressent les électriciens :

Utilisation des chutes aux barrages comme force motrice. — Moyens d'utiliser cette force en temps normal pour la traction des bateaux et pour les manœuvres à faire dans l'intérêt de la navigation. — Utilisation de la vitesse des courants pendant les crues.

Élévation mécanique, de bief en bief, des eaux servant à l'alimentation d'un canal. — Moyen de transmettre directement ou à distance, la puissance nécessaire pour élever l'eau de bief en bief : machine à vapeur, électricité, eau sous pression.

Exposition d'électricité industrielle à Saint-Pétersbourg en 1899. — Cette exposition, créée sous les auspices de la Société électrotechnique russe, sera internationale.

Pour mieux permettre d'apprécier les applications de l'électricité, on créera dans l'enceinte de l'Exposition un système de canaux où navigueront des bateaux mus par l'électricité, des voies ferrées à trains électriques, etc.

La traction électrique dans l'Ardèche. — M. le Président de la République a signé, sur le rapport de M. le Ministre des Travaux publics, le décret déclarant d'utilité publique la construction d'un tramway à traction électrique reliant Vals-les-Bains à la gare d'Aubenas-ville. Le projet définitif doit être présenté un mois après cette signature, et les travaux commenceront deux mois après l'approbation de ce projet, pour être terminés dans le délai maximum d'un an. La ligne partira de la place du pont de Vals, suivra la route départementale n° 1 jusqu'à Labégude où elle empruntera la route nationale n° 104, jusqu'à Aubenas et arrivera par le faubourg Jean-Mathon à la gare P.-L.-M. où elle aura son point terminus. La voie sera d'un mètre de largeur. Le tramway devra desservir tous les trains arrivant ou partant des gares de Labégude et d'Aubenas-ville. Entre Vals et Aubenas, le nombre des trains du tramway est fixé au minimum de six dans chaque sens. Le prix de transport aller et retour, en 2e classe, entre Aubenas et Vals ne pourra dépasser la somme de 50 centimes par voyageur. Des haltes et stations seront établies, à Vals.

Il paraît qu'il y aura quelque difficulté à trouver dans le pays même l'argent nécessaire à cette exploitation, l'électricité ayant déjà causé de nombreux mécomptes aux habitants.

La force motrice. — Morez. — La production de la force motrice au moyen de l'énergie électrique est devenue nécessaire à Morez, en ce moment où patrons et ouvriers voient avec désespoir la Bienne à sec.

M. Nicolot s'est assuré la chute des Planches pour réaliser ce problème et il espère pouvoir obtenir ce résultat dès l'année prochaine, grâce au bienveillant appui de la municipalité morézienne.

Dès le début, les forces louées pourront être concédées de 1/4 de cheval à 20 chevaux pour chaque usine.

Les abonnements seront de deux natures :

1° Les abonnements à l'année pour petite ou grande industrie depuis 1/4 de cheval ;

2° Les abonnements au compteur.

Dans cette catégorie entrent :

a) L'industriel qui n'est pas sûr d'avoir du travail à l'année et qui désire ne pas payer une force devenue inutile en temps de chômage.

b) Et celui qui, ayant déjà une force motrice ou autre, désire se prémunir en cas de basses eaux, gelées ou de toute autre cause pouvant suspendre ou diminuer la force dont il a besoin.

— Shoreditch (Angleterre). — Récemment a eu lieu, à Shoreditch, sous la présidence du célèbre physicien lord Kelvin, l'inauguration d'une station centrale d'énergie électrique qui offre un intérêt particulier : en effet, la force motrice est produite par la combustion des gadoues. Il y a douze fours chauffant six chaudières. La combustion est entretenue par trois ventilateurs électriques et une cheminée de 150 pieds de hauteur et 7 pieds de diamètre à la base ; on brûle de 8 à 12 tonnes de gadoue par jour. Les fours fonctionnent continuellement, mais, comme on n'a besoin de l'énergie que pendant un certain temps, un dispositif ingénieux permet d'emmagasiner la chaleur quand on ne produit pas d'électricité.

La partie électrique se compose de trois générateurs travaillant à 1 100 volts et de trois dynamos à basse tension de 165 volts ; ils sont tous actionnés par des machines Willans.

Bien que des fours pour la destruction des gadoues fonctionnent depuis plusieurs années, on avait rarement songé à utiliser la chaleur qu'ils dégagent pour produire de la vapeur. La station centrale de Shoreditch nous offre un bon exemple : espérons qu'il sera imité.

— La taxe de la force motrice dans la Loire. — Une grande assemblée de tisseurs ayant la force motrice a eu lieu le 24 octobre au palais de justice de la ville de Saint-Étienne.

Toutes les communes environnantes : Saint-Didier-la-Séauve, Saint-Just, Saint-Rambert, La Fouillouse, Villars, Saint-Genest-Lerpt, Côte-Chaude, constituées en syndicats, représentés par des délégations, assistaient à cette importante réunion.

Après avoir pris connaissance de la lettre adressée aux délégués de l'Association professionnelle du tissage mécanique par la Compagnie électrique de

la Loire, et des démarches faites auprès du maire de la ville de Saint-Étienne pour arriver à une entente amiable avec la Compagnie ;

Jugeant les dernières conditions proposées par M. François Gillet, président de ladite Compagnie, comme absolument inadmissibles, vu l'état de pénurie complète où en est réduite la corporation du tissage en général,

A décidé :

1° D'adresser au ministre des Travaux publics une pétition demandant un maximum d'abonnement plus réduit pour l'industrie du tissage ;

2° De nommer une commission d'une vingtaine de membres pour étudier immédiatement les mesures à prendre en face de la situation actuelle ;

Et vote enfin l'ordre du jour suivant :

Tous les tisseurs de Saint-Étienne et des environs ayant la force motrice, réunis en assemblée générale le 24 octobre 1897, au nombre de plus de 500 :

Protestent avec énergie contre les prétentions de la Compagnie électrique de la Loire, augmentant dans un moment de crise du travail, de 20 p. 100 les prix de ses nouvelles polices d'abonnements :

Décident qu'aucun d'entre eux ne signera les polices augmentées ;

Engagent tous les tisseurs n'ayant pas encore la force motrice à ne signer aucun engagement avec la Compagnie, en attendant que les démarches entreprises auprès du ministre des Travaux publics aient reçu une solution ;

Décident enfin de faire appel à différentes Sociétés s'occupant de force motrice à bon marché et la mise à l'étude de divers projets de coopérative pour la fourniture de la force par petits groupes, par quartiers ou par endroits.

— SAINT-SERVAN. — Un projet hardi vient d'être présenté au conseil municipal de Saint-Servan. Il s'agit de barrer la Rance et de transformer ainsi son estuaire en un vaste lac allant de Bizeux à l'écluse du Châtelier. Deux écluses permettraient le passage des navires du plus gros tonnage. Les forces de la Rance, entièrement utilisées, donneraient 80 000 chevaux-vapeur, mais on n'actionnerait d'après le projet que 10 000 chevaux.

La nouvelle Société a l'intention d'établir d'immenses usines pour la fabrication des fers, et au lieu de se servir de la houille elle emploierait l'électricité produite par le barrage des eaux de la Rance.

3 000 chevaux seraient seulement affectés aux fonderies, les 7 000 disponibles serviraient pour l'industrie locale et l'éclairage des villes de Saint-Servan, Saint-Malo, Paramé. Les usines feraient concurrence aux mines d'Anzin, de Belgique et d'Angleterre. Cette concurrence serait, — c'est du moins ce que pensent les promoteurs de cette immense installation — facilitée par la proximité du minerai, très abondant dans la Manche et le Calvados et que l'on doit, faute d'emploi, expédier en Angleterre où en Allemagne.

L'éclairage électrique. — ANDERNAY ET CONTRISSON. — Nous avons annoncé (Supplément, p. XI) que la concession pour l'éclairage des deux communes d'Andernay et Contrisson avait été accordée à M. Trusson. L'installation est maintenant terminée pour l'éclairage particulier comme pour l'éclairage public. Des marchés sont passés avec 140 souscripteurs, moyennant le prix de 21 fr par année et par bec de 10 à 12 bougies. La lumière fonctionne de la tombée de la nuit jusqu'à 11 heures du soir et de 4 heures du matin au jour.

Cette force électrique peut aussi actionner des moteurs qui permettraient de battre les grains dans la grange même du cultivateur.

— BISKRA. — Le conseil municipal a voté l'éclairage à l'électricité de la ville de Biskra. Le concessionnaire est M. Burgard, ingénieur civil d'Alger. L'inauguration aura lieu pour les prochaines fêtes de la ville, du 15 au 17 janvier 1898.

— BRIVE. — M. Chaux, concessionnaire d'entreprises d'éclairage et de traction électriques, demande une pareille concession dans la ville de Brive. C'est la troisième demande qui est formulée ; mais ce qui la rend particulièrement intéressante, c'est que le nouveau concessionnaire se substituerait à la Ville pour la soustraire aux obligations du cahier des charges de la Compagnie du gaz, qui lui impose de prendre l'usine à sa charge dans le cas où le traité ne serait pas renouvelé.

— CHAMPEIX. — A la suite de difficultés, l'éclairage de Champeix avait été interrompu. La première Société a vendu usine et concessions à M. Chaux, et l'éclairage a recommencé. Le nouveau propriétaire a l'intention d'étendre le réseau à Plauzat, Montaigut, Neschers et Coudes.

— DUN. — M. Gouy, propriétaire du moulin des Ponts, qui avait demandé la concession de l'éclairage électrique de la ville de Dun-sur-Auron, a été autorisé à établir ses fils aériens.

— ELBEUF. — Les premiers essais d'éclairage électrique public ont été faits à Elbeuf, sur la place du Calvaire. Au centre de la place est dressée une colonne de fonte au sommet de laquelle se trouve la lampe à arc. De nouvelles lampes seront installées prochainement dans la ville.

— EVAUX-LES-BAINS. — Deux sociétés avaient déjà, l'an dernier, fait les études en vue de l'éclairage électrique d'Evaux-les-Bains ; mais elles n'avaient pu aboutir.

L'une d'elles, représentée par M. Morra, revient à la charge sur d'autres bases.

Elle propose d'installer une usine électrique sur la Tardes, au moulin de Bouleau, et d'éclairer du même coup les villes de Chambon et d'Evaux.

— GRENOBLE. — La ville de Grenoble est appelée à remanier son traité avec la Société grenobloise d'éclairage électrique. Lors de la signature du premier traité en 1888, le conseil municipal avait bien compris que dans, un avenir peu éloigné, le remaniement du traité s'imposerait, et il avait inscrit des clauses permettant et réglant le rachat du privilège concédé, après une durée de dix années.

Or, le point de départ de la concession ayant été fixé au 1er juillet 1889, c'est au 1er juillet 1899 que la Ville pourra exercer le droit de rachat prévu au cahier des charges de la concession.

D'après le premier traité la Société était chargée de l'éclairage gratuit des places et jardins de la ville (elle évalue à 12 000 francs la dépense moyenne annuelle qui en résulte), et la Ville lui concédait le privilège de distribuer dans Grenoble l'énergie et la lumière électrique. Ce privilège s'explique à une époque où on était loin de soupçonner les forces naturelles considérables de la région.

Aujourd'hui, dans un rayon de 30 ou 40 km autour de Grenoble, environ 100 000 chevaux sont sur le point d'être recueillis par diverses sociétés, soit dans le bassin de l'Isère, soit dans celui du Drac et de la Romanche.

Il est évident que ces forces importantes ne doivent pas, pour la plupart du moins, être consommées sur place, mais doivent être en grande partie utilisées dans la ville elle-même.

En donnant à la Société le monopole du transport de l'énergie, on paralyserait l'industrie. On peut accorder le privilège exclusif de l'éclairage et autoriser la Société à transporter et vendre l'énergie électrique dont elle peut disposer après avoir assuré l'éclairage. Mais il serait fâcheux de donner davantage.

La Ville a d'ailleurs parfaitement compris cela et elle a décidé de ne pas renouveler simplement le traité actuel.

Elle fait appel, en conséquence, à tous ceux qui peuvent avoir des propositions à formuler.

— MARCILLAT (Allier). — M. Stéphane Dupuis, filateur au Moulin-Gazut, se propose d'installer la lumière électrique à Marcillat. Son projet aurait déjà recueilli, paraît-il, une quarantaine d'adhésions. La municipalité serait du nombre et aurait souscrit pour un assez grand nombre de lampes.

A titre d'indication, voici les prix du nouvel éclairage : 1,70 fr par mois pour une lampe de 5 bougies ; 2,70 fr pour une lampe de 10 bougies ; 3,70 fr pour une lampe de 16 bougies, la durée de l'éclairage étant comprise à partir de la chute du jour jusqu'à 11 heures du soir. Les frais d'installation sont fixés à 20 francs.

Ces conditions, on le voit, sont des plus abordables, et l'on s'explique l'empressement que les commerçants et les particuliers de Marcillat mettent à souscrire.

— Niort. — On sait que toutes les tentatives ont échoué devant le refus de la Ville d'autoriser la pose de conducteurs aériens ou de canalisations souterraines, et cela en vertu d'un traité avec la Compagnie du gaz.

Voilà qu'il se présente une combinaison nouvelle qui permettrait de tourner la difficulté et de donner satisfaction, sinon à tous les particuliers de la ville, du moins à un grand nombre d'habitants du centre : il s'agirait de créer une petite usine électrique dans le pâté de maisons compris entre les rues Sainte-Marthe, Saint-Jean, Victor-Hugo, Ricard, des Cordeliers et la place du Temple et de distribuer la lumière aux habitants de ce massif. De cette façon, n'ayant pas à traverser la voie publique, on se passerait de toute autorisation de la Ville.

Paris. — Mardi 30 novembre, la première commission municipale a discuté et adopté les conclusions du rapport de M. Charles Bos sur l'éclairage électrique. (Voir *L'Éclairage Électrique*, ce tome, p. 431.)

La seule difficulté était dans le refus du secteur des Champs-Elysées et du secteur de Clichy, qui, desservant des quartiers riches, sont soumis pendant l'été à quelque peu de chômage par l'absence de Paris d'une partie de leur clientèle, d'abaisser leur tarif au-dessous de 12 centimes et demi, alors que les autres secteurs consentaient à l'abaisser à 10 centimes.

Cela constituait un régime d'exception auquel auraient été soumis plusieurs quartiers.

Après entente avec les Compagnies, la commission a voté les conclusions suivantes :

Le tarif que pourront imposer les secteurs est de 10 centimes; ils pourront l'abaisser à leur volonté.

Les appartements d'un loyer supérieur à 2,500 fr pourront être soumis par tous les secteurs au tarif maximum de 12 centimes et demi ou au minimum de 7,50 fr par an par lampe installée.

A partir de 1907, le tarif maximum, 10 centimes, sera imposé à tous les secteurs, quel que soit le loyer des appartements.

Les autres clauses adoptées par la commission sont les suivantes :

Le prix de l'hectowatt-heure serait :

Pour la force motrice et l'automobilisme : 4 centimes avec tarif décroissant jusqu'à 1 centime 6 millimes pour les grosses consommations d'automobilisme.

Pour les établissements municipaux et les transports en commun, 5 centimes.

La participation de la Ville de Paris, dans les bénéfices bruts serait de 5 à 5 1/2 p. 100 immédiatement, de 6 p. 100 en 1904, de 7 p. 100 en 1909 et ensuite de 7 1/2 p. 100 jusqu'à la fin de la concession.

A partir du 1er janvier 1898, la Ville reste libre de poser des fils dans sa réserve, de développer ses usines, d'en créer de nouvelles et même de créer un service municipal d'électricité sans indemnité ; mais elle renonce au droit de concession nouvelle à des tiers jusqu'en 1920.

M. Bos réserve enfin pour la Ville le droit de

rachat, à dire d'expert, à partir de 1906; et, si l'expertise durait plus de six mois, elle pourrait prendre possession des usines, du matériel, etc., afin qu'il n'y ait aucune interruption dans l'exploitation.

— Tourcoing. — Une Compagnie d'électricité projette d'éclairer le secteur compris entre la Grande-Place, la rue du Curé, la place de la République, la place Charles-Roussel, la rue Martine et la rue de Lille.

La Compagnie demande aux habitants de ce secteur qui voudraient substituer l'électricité au gaz de lui faire part du nombre de mètres cubes qu'ils consomment annuellement.

— Wattrelos. — Le 20 novembre expirait le délai accordé par la ville pour le dépôt des projets d'éclairage public par l'électricité.

Onze projets ont été déposés à la Mairie. Ce sont ceux des maisons que voici : le Phœnix, de Gand; Société électro-mécanique Gramme, de Paris; Société électro-mécanique de Paris, Fabius Henrion, de Nancy; Société internationale d'électricité de Nancy; l'Eclairage électrique de Paris; la Société des Applications industrielles; Lombard-Gerin, de Paris, Société d'études et de construction d'usines, Dr Daix, de Paris; Société électrique du Nord, de Paris, Société alsacienne de Paris.

Les projets ont été examinés par l'ingénieur-conseil de la ville, M. Aimé Witz, doyen de la Faculté des sciences de Lille, qui a dressé son rapport et l'a soumis à la commission municipale de l'éclairage public par l'électricité.

Téléphonie. — L'Hôtel central des téléphones belges. — Les travaux du nouvel Hôtel central des téléphones sont poussés en ce moment avec une extrême activité.

Les toits ont été posés il y a déjà plusieurs semaines, et le bâtiment pourra être chauffé et éclairé dès le commencement de l'hiver, de sorte qu'il sera possible de poursuivre sans interruption les aménagements intérieurs. Comme dans un bâtiment de cette longueur il n'est possible d'établir les commutateurs pour 15000 abonnés qu'à la condition de les disposer sur quatre rangées, il a été adopté une largeur intérieure de 20 mètres.

De l'avis de M. Van der Aa, architecte des bâtiments des postes et télégraphes, l'influence nuisible des courants des nombreuses installations de traction électrique à câble aérien, déjà en activité à Bruxelles, aussi bien que l'impossibilité d'augmenter sensiblement le nombre et les dimensions des chevalets téléphoniques, rendent nécessaire la mise sous terre, à peu près générale, du réseau bruxellois. A cet effet, des câbles, contenant chacun 200 fils, seront placés dans des canalisations souterraines pour être répartis dans les différents quartiers de la ville. Lorsque la nécessité en sera reconnue, un ou deux de ces câbles seront amenés sur un toit, reliés à un chevalet et distribués entre les abonnés habitant dans le voisinage.

Dans l'Hôtel central des téléphones, les différents fils, tant aériens que mixtes, seront raccordés aux appareils de croisement en passant par une large cheminée dite cheminée des câbles et occupant toute la hauteur du bâtiment, depuis les caves jusqu'au toit.

Sauf le cas de difficultés imprévues, M. Van der Aa estime que l'édifice pourra être remis dans le courant de l'été 1898, au service technique des télégraphes chargé de l'installation des appareils téléphoniques, et que, dans ces conditions, le nouveau bureau central téléphonique pourra fonctionner, au plus tard, le 1er janvier 1899.

— Ligne franco-belge. — A partir du 1er novembre prochain, les nouvelles lignes téléphoniques suivantes seront mises en activité entre la France et la Belgique :

1° Les groupes d'Anvers-Boom-Capellen, de Bruxelles-Braine-l'Alleud-Hal-Nivelles-Vilvorde, de Charleroi (postes raccordés par un fil double seulement), Binche-la-Louvière, de Courtrai-Iseghem-Roulers-Ypres, de Gand-Renaix, du littoral, de Mons-Givry-St-Ghislain-Soignies, de Termonde-Alost-Lokeren-St-Nicolas, de Tournai-Antoing-Ath-Leuze-Pecq-Péruwelz, pourront correspondre avec le réseau de la Bassée ;

2° Le groupe de Bruxelles-Braine-l'Alleud-Hal-Nivelles-Vilvorde sera mis en communication avec les réseaux de Douai-Aniche-Hénin-Liétard-Lens-Corbehem, d'Armentières, d'Arras, de Dunkerque-Bergues et d'Halluin ;

3° Le groupe de Mons (postes reliés par fil double seulement), St-Ghislain (à l'exclusion du réseau de Soignies) correspondra avec le réseau de Calais.

Le prix des correspondances ordinaires est fixé ainsi par conversation de cinq minutes au moins : groupe de Courtrai et de Tournai avec la Bassée (taxe de jour), 1,50 fr; groupe de Mons avec Calais (taxe de jour), 1,50 fr; pour les autres relations indiquées, 2 fr pour la taxe du jour.

Le service de nuit, non encore établi, ne tardera sans doute pas à être organisé sur ces diverses lignes.

— Le téléphone Brest-Rennes-Paris. — Le conseil municipal a voté, au commencement de novembre, le principe de la création du téléphone Brest-Rennes-Paris.

La dépense pour le réseau téléphonique serait d'environ 178000 fr. Cette somme doit être avancée à l'État; elle ne porterait pas intérêt, mais serait remboursée avec le produit des recettes.

La chambre de commerce de Brest paraît décidée à prêter son concours.

Il y a actuellement 34 abonnés à Brest à 200 fr par an ; ce nombre augmentera certainement.

Le tarif de la communication avec Paris sera d'environ 3 fr à 3 fr 50 pour cinq minutes.

La ville promet une quarantaine de mille francs.

Les recettes possibles de Saint-Brieuc sont évaluées à 7 ou 8 000 fr. A Brest, elles seraient de 16 ou 17 000 fr. Cela ferait un amortissement annuel de 25 000 fr environ, de sorte qu'en sept ans la somme à avancer serait remboursée.

Il s'agit de trouver la somme de 136 000 fr environ, qui serait afférente à Brest.

SOMMAIRES DES PÉRIODIQUES

L'Electricien, t. XIV, n° 362 (4 décembre 1897). — Nouvelles machines pour la fabrication des câbles électriques ; ALIAMET. — Tramway électrique de Saint-Sébastien. — L'électrochimie et l'électrométallurgie depuis vingt-cinq ans (*suite*) ; E. ANDRÉOLI. — Réducteur de potentiel pour l'utilisation des réseaux d'éclairage électrique à courant continu ou alternatif aux besoins de l'électrothérapie. — Sur une nouvelle méthode pour l'étude des dynamos, d'après Arnold ; E.-J. BRUNSWICK.

Bulletin de la Société d'Encouragement, n° 11, t. II, 5e série (novembre 1897). — Plateforme électrique à deux vitesses de BLOT GUYENET et de MOCOMBLE.

Journal télégraphique, t. XXI, n° 11 (Berne, 25 novembre 1897). — Note sur deux réparations du câble de la Compagnie South American Cable dans les eaux de l'île du Cap-Vert, en 1893 et 1855 (*suite*) ; H. BENEST. — Statistique télégraphique comparative de 1896. — Les télégraphes et les téléphones dans les Pays-Bas en 1896. — Les télégraphes aux Indes néerlandaises pendant l'année 1895.

Revue des transports parisiens n° 9 (1er décembre 1897). Moteurs pour chemins de fer et tramways électriques (*suite et fin*) ; ED. BOYER. — Fiacres électriques, le système Krieger ; TH. BOTIAUX.

The Electrician, t. XL n° 6 (Londres, 3 décembre 1897). — Service des automobiles électriques à New-York. — Traction par accumulateurs sur voies ferrées et routes ordinaires (discussion). — Eclairage et traction électrique. — Système de distribution électrique à Manchester. — La distribution de l'énergie électrique ; C.-H. WORDINGHAM.

The Electrical Review, t. XLI, n° 1015 (Londres, 3 décembre 1897). — Phares et bateaux-phares. — Pratique du système à trois fils en Angleterre et en Amérique ; HAROLD LOMAS. — Télégraphe Marconi, expériences à Berlin et à Vienne. — Essai d'isolement et de câble et indications pour un nouvel appareil. — Régulation du champ d'un générateur triphasé actionnant un moteur à charge faiblement variable ; A.-H. GIBSON. — Distribution électrique dans les ateliers de la marine.

Engineering, t. LXIV n° 1666 (Londres, 3 décembre 1897). — Traction électrique par accumulateurs.

The Electrical World, t. XXX n° 21 (New-York, 20 novembre 1897). — L'équipement électrique du service suburbain du chemin de fer de Long-Island. — Résistance des huiles à l'étincelle ; C.-P. STEINMETZ. — Une étude de l'isolement électrique (*suite*) ; F.-W. PHISTERER. — Générateurs de 1500 kilowatts de la station de la Allegheny County Light Company ; P.-H. THOMAS. — Les tramways électriques à conduite souterraine de New-York.

The Electrical Engineer, t. XXIV n° 498 (New-York, 18 novembre 1897). — Station de force et d'éclairage électriques de la Mergenthaler Linotype Company. — Essai de moteurs à induction triphasés (*fin*) ; W.-T. MORRISON. — Moyens de supporter les gros conducteurs (*fin*) ; S.-H. SHARPSTEEN. — Souder ou ne pas souder ; A.-E. DOBBS et C.-H. NORTH. — L'uniformité dans les lampes à incandescence. — Abaissement du prix du courant. — La lumière électrique aux élections de New-York.

Zeitschrift für Elektrotechnik, n° 23 (Vienne, 1er décembre 1897). — Le développement du système multiple dans les grands centres téléphoniques (*suite*). — Sur les phénomènes dans les appareils d'induction ; Dr R. — Une nouvelle lampe à incandescence régénérable. — La locomotive électrique de la Société générale d'électricité de Berlin. — Utilisation des chutes d'eau ; M. Z.

OUVRAGES REÇUS

Il est donné un compte rendu bibliographique de tout ouvrage dont **deux** *exemplaires sont envoyés à la Rédaction.*

Die elektrischen Beleuchtungs. Anlagen ; par Alfred RITTER VON URBANITZKY, t. XI de l'*Elektrotechnische Bibliothek* 3e édition, 1 vol. petit in-8°, 240 pages avec 113 figures, *A. Hartleben's*, éditeur, Leipzig. Prix 4 francs.

Theoria geometrica del campi vettoriali, mémoire de Galileo FERRARIS, publié par l'Académie Royale des sciences de Turin. — *Carlo Clausen*, éditeur, Turin.

BREVETS D'INVENTION

Liste communiquée par l'Office E. Barrault, 58 bis, *rue de la Chaussée-d'Antin, Paris.*

268 044. **Chabeault**. 23 juin 1897. — Nouveau système d'électrode à gaz pour piles et accumulateurs.

268 056. **De Coincy**. 21 juin 1897. — Transmetteur téléphonique.

268 061. **Belfield**. 22 juin 1897. — Dispositifs de commande pour moteurs électriques.

268 062. **Mauny**. 22 juin 1897. — Nouveau système de machine dynamo-électrique.

268 069. **Société d'électricité Alioth**. 22 juin 1897. — Appareil de chauffage électrique par courant alternatif.

268 082. **Mme Niemann**. 22 juin 1897. — Porte-cornet acoustique pour téléphones.

268 102. **Lecerf**. 22 juin 1897. — Elément de pile électrique à deux liquides avec cloison horizontale inaltérable.

268 116. **Société Gin et Leleux**. 23 juin 1897. — Perfectionnements aux fours électriques par l'emploi de foyers multiples et moyens pour réaliser cette application.

268 130. **Shesler**. 23 juin 1897. — Perfectionnements aux lampes électriques à arc.

268 131. **Morand**. 23 juin 1897. — Système de commutation électrique à durée temporaire variable pour l'éclairage électrique ou autre.

268 155. **Roger**. 24 juin 1897. — Perfectionnements dans la construction et le montage des lampes à incandescence.

268 185. **Berthon, Dussaud et Jaubert**. 25 juin 1897 — Système de transmission, d'enregistrement et de répétition à distance de la parole et des sons en général, dénommé : *Télémicrophonographe*.

268 198. **Heil**. 26 juin 1897. — Accumulateur d'énergie électrique.

268 204. **Bouquet**. 26 juin 1897. — Nouvel induit pour moteurs électriques à courants continus à vitesses très variables alimentées à potentiel courant.

268 215. **Société Morrat et Langlois**. 26 juin 1897. — Interrupteur multipolaire pour courants électriques à haute tension.

268 221. **Bachmann, Vogt, Weiner, Kirchner, Konig et Jorg**. 26 juin 1897. — Nouveau genre de borne de contact pour les électrodes en charbon dans les appareils électriques.

268 222. **Gold**. 26 juin 1897. — Perfectionnements dans les chauffeurs électriques.

268 244. **Société Patent Verwerthungs Gesellschaft**. 28 juin 1897. — Lampe électrique à arc.

268 254. **Bachmann, Vogt, Weiner, Kichner, Konig et Jorg**. 28 juin 1897. — Nouveau genre de résistances électriques en pierre artificielle.

268 264. **Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston**. 29 juin 1897. — Compteurs électriques à constante variable.

268 265. **Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston**. 29 juin 1897. — Indicateur de terre.

NOUVELLES

La traction électrique sur les canaux. — L'installation de traction électrique sur les canaux, dont nous avons donné une description détaillée dans le n° 37 du 11 octobre 1897, va être, à la fin de l'année, ouverte au trafic du canal. Les essais de réception viennent d'être terminés et ils ont donné tous les résultats pratiques attendus par les promoteurs. Vers la fin de ce mois, une inauguration officielle aura lieu, après laquelle ce nouveau mode de traction, si intéressant, rendra certainement de grands services aux mariniers, puisqu'il leur permettra d'augmenter la vitesse de marche et assurera le passage aux écluses d'une façon plus régulière.

Un protecteur pour conducteur mécanicien de tramway électrique. — Nous signalons aux intéressés une innovation appliquée en Amérique et qui pourrait être également employée en France. Elle consiste à protéger le visage du conducteur-mécanicien.

L'appareil est composé d'un store ; à la partie inférieure est placée une glace ; le tout est fixé à l'avant du tramway. En ajustant ce store, le mécanicien dispose la glace à hauteur de ses yeux.

Il est ainsi protégé contre la pluie, le vent et la poussière : il s'ensuit que son service devient moins fatigant, et la sécurité de conduite de la voiture est ainsi augmentée.

Traction électrique. — Chemins de fer économiques du Nord. — La Société des chemins de fer économiques du Nord de la France, qui exploite, on le sait, le réseau de Valenciennes, ainsi que les lignes d'Armentières-Halluin, Saint-Amand-Helesmes et Lens-Frévent, vient de conclure, avec la *Compagnie de traction*, un contrat pour l'application de la traction électrique sur les diverses lignes de son réseau.

— Alger. — La ligne Alger-Coléa est à peu près terminée en ce qui concerne les travaux d'infrastructure.

Les ouvrages d'art, assez rares d'ailleurs, de Guyotville à Coléa sont achevés : ils consistent en un pont sur l'Oued-M'Sous, en un viaduc sur la route de Staouéli à Zéralda, et en deux grands ponts sur le Mazafran, en ce moment en bonne voie de construction.

La plate-forme remise, la Compagnie s'occupera de la pose des rails.

Le tramway de l'Hôpital du Dey à la Colonne Voirol pourra être livré à l'exploitation dans un mois environ. Les travaux sont exécutés par la Compagnie Thomson-Houston. La pose de la voie et des fils aériens, l'installation de l'usine dans le quartier dénommé le Pâté, entre les deux Mustapha, avancent rapidement. Les voitures seront munies des freins électro-magnétiques que la Compagnie emploie pour la première fois en Europe.

— Allemagne. — Le développement des tramways électriques est des plus rapides depuis quelques années en Allemagne.

A la fin de 1891, trois localités seulement possédaient des tramways électriques ; en 1892, il en fut établi dans deux autres, puis la progression s'accentua, si bien qu'en août 1896, 42 villes allemandes étaient dotées de tramways électriques et que, depuis, ce nombre a presque doublé.

La plupart des lignes sont à conducteur aérien. Les trois lignes berlinoises comportent le système mixte avec conducteur aérien et conducteur souterrain ; à Dresde et à Hanovre, on trouve des tramways à trôlet et des tramways avec accumulateurs.

Au 1er août 1897, on comptait 583 lignes d'un développement de 854 kilomètres en exploitation.

— Bangkok. — Une Compagnie avait organisé l'éclairage électrique de Bangkok. En 1892, le gouvernement siamois s'était substitué à la Compagnie.

Comme on pouvait s'y attendre, la nouvelle exploitation a beaucoup laissé à désirer, aussi l'outillage vient-il d'être vendu à un ingénieur américain qui a formé un syndicat avec les négociants et d'autres personnalités locales.

Le gouvernement a concédé à ce syndicat l'éclairage électrique pour une période de vingt ans avec engagement d'employer cet éclairage pour l'administration. C'est pour cela que le palais du roi, quelques temples et les rues principales sont éclairés à l'électricité.

— Brest. — Les lignes de tramways électriques seront livrées à la circulation au commencement du printemps.

Les trois machines à vapeur d'une force de 3 000 chevaux nécessaires à la production de l'énergie électrique sont arrivées. Les voitures devant servir au transport des voyageurs, voitures dont le modèle a été fourni à l'administration municipale, sont commandées ; elles arriveront à Brest dans le courant de janvier.

La pose de la voie aérienne commencera dans les premiers jours de janvier ; elle sera faite la nuit, de manière à ne pas gêner la circulation.

Le trôlet sera supporté par des fils transversaux supportés par des poteaux ou par des rosaces.

La Compagnie a donc demandé aux propriétaires l'autorisation de fixer ces rosaces contre la façade de leurs immeubles.

Au centre de la rosace scellée dans le mur, à environ sept mètres au-dessus du sol, sera attaché le fil transversal destiné à supporter le fil conducteur.

— Paris. — M. F. de Brancion, ingénieur électricien, a proposé un réseau de tramways électriques pour le département de la Seine. Il s'agit de voitures sans impériale et sans plate-forme d'avant. Le prix serait uniforme et de 10 centimes. Voici l'indication sommaire des lignes qu'il s'agit de créer.

Ligne A du Nord-Est au Sud-Ouest, de la station de Gagny à Bellevue. — Ligne B du Nord-Est au Sud-Ouest, de Noisy-le-Sec à Bellevue. — Ligne C de l'Est à l'Ouest, de la station de Champigny à la gare d'Asnières. — Ligne D de l'Est à l'Ouest, de la gare de Fontenay-sous-Bois à Clichy. — Ligne E du Nord au Sud, de la gare de Sannois au cimetière de Bagneux. — Ligne G du Nord au Sud, de Saint-Denis à la station d'Arcueil. — Ligne T, de Saint-Denis à la place de la Trinité et à la Butte Montmartre. — Ligne M, des Docks Saint-Ouen à la place Cadet. — Ligne H de raccordement par le Nord, d'Alfortville à Bellevue. — Ligne K de raccordement par le Sud, de Fontenay-sous-Bois à la gare d'Asnières.

— Rome. — La Société des tramways électriques a intérêt à installer rapidement sur ses lignes un système de traction électrique identique, de façon à faire passer ses voitures de réserve sur une ligne ou l'autre.

La traction aérienne, employée d'une manière assez générale, avait été défendue aux lignes du Corso Vittorio Emanuele, sur lesquelles devait être appliquée la traction souterraine.

Mais la municipalité s'est décidée à accepter la ligne aérienne pour hâter l'installation, en demandant à la Société une augmentation des droits prélevés par la Ville. La Société a répondu qu'elle accorderait cette augmentation, mais en échange d'une prolongation considérable du terme de la concession.

Il n'y a pas accord et le public se contente des tramways à chevaux, en attendant mieux.

Sociétés. — Formation. — Une compagnie, *The Norvégian Mica Company*, vient d'être fondée à Christiania pour l'exploitation des mines de mica de la Norvège. Le conseil d'administration comprend M. L. Vogt, professeur de minéralogie à l'Université de Christiania, ainsi que M. Henry E. Mohn, ingénieur civil à Christiania, président.

SOMMAIRES DES PÉRIODIQUES

L'Électricien, t. XIV, n° 363 (11 décembre 1897). — Lampe à arc à courant alternatif à moteur asynchrone réversible de M.-F. Hanrion ; M. ALIAMET. — Travaux d'amateurs : construction et installation d'un poste microtéléphonique ; Georges DARY. — Un nouveau chemin de fer électrique suspendu. — Électricité et train éclair ; J. BUSE fils. — Nouveau transformateur à haute tension. — Exposition de Bruxelles : L'épuration et la stérilisation de l'eau par l'ozone ; E. PIERARD. — Un réseau d'éclairage électrique, s'étendant à plus de 60 kilomètres ; R.-B. RITTER.

Le Génie Civil, t. XXXII, n° 5 (4 décembre 1897). — Étude de la circulation de l'eau dans les chaudières multitubulaires ; H. BRILLIÉ. — Fabrication de l'aluminium par l'électrolyse aux chutes du Niagara. — (11 décembre 1897). — Étude de la circulation de l'eau dans les chaudières multitubulaires (*suite*) ; H. BRILLIÉ.

The Electrician, t. XL, n° 7 (Londres, 10 décembre 1897). — Sur les écrans magnétiques ; H. DU BOIS. — Méthodes d'essais pour ingénieurs télégraphistes (*suite*) ; J-E. YOUNG. — Monte-charges et grues électriques (discussion). — Phasemètre (*suite*) ; Edward-B. ROSA. — Le système téléphonique au Royaume-Uni ; F.-C. RAPHAEL. — Ponts-levis électriques en Amérique.

The Electrical Review, t. XLI, n° 1046 (Londres, 10 décembre 1897). — Essais d'accumulateurs électriques ; Rankin KENNEDY. — L'électricité dans les filatures. — Mesure des courants triphasés ; Lawford-H. FRY. — Essais de manchons à incandescence par le gaz ; E.-A. MEDLEY.

The Engineering Magazine, t. XIV, n° 3 (Londres, décembre 1897). — Règles pratiques pour l'installation des ascenseurs électriques ; P.-R. MOSES.

The Electrical World, t. XXX, n° 22 (New-York, 27 décembre 1897). — Appareil inscripteur des quantités électriques périodiques ; E.-B. ROSA. — Théorie des moteurs à courant continu, vitesse et potentiel constants ; W.-M. BAXTER. — Revision des risques d'incendie par l'électricité ; J.-E. TALBOT. — Installation électrique des fabriques de la Mathieson Alkali ; J.-R. HASKIN. — Machine à courants alternatifs ; Edwin-J. HOUSTON et A.-E. KENNELLY. — Sur la meilleure construction et le meilleur usage des économiseurs ; Henry-G. BRINCKERHOFE. — L'automobile Patton. — Les tramways municipaux de Leeds.

Elecktrotechnische Zeitschrift, n° 48 (Berlin, 2 décembre 1895). — Rhéostat de démarrage et de changement de marche des moteurs en dérivation ; MENGES. — Transformateur de phase de Ferraris-Arno ; L. LOMBARDI. — Rendement électrique des transmetteurs téléphoniques ; A. REDING.

BREVETS D'INVENTION

Liste communiquée par l'Office E. Barrault, 58 bis, *rue de la Chaussée-d'Antin, Paris.*

246 669. **Société Industrielle des Téléphones.** 13 juillet 1897. — Certificat d'addition au brevet pris le 16 avril 1895 pour récepteur enregistreur de signaux télégraphiques pour l'usage des câbles sous-marins et souterrains et longues lignes aériennes, *système Ader*.

251 603. **Roubal.** 3 juillet 1898. — Certificat d'addition au brevet pris le 11 novembre 1895, pour charbons perfectionnés pour lampe à arc voltaïque.

265 677. **Radiguet.** 5 juillet 1897. — Certificat d'addition au brevet pris le 5 avril 1897, pour trembleur à mercure.

268 266. **Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston.** 29 juin 1897. — Compteur électrique.

268 272. **Clare.** 29 juin 1897. — Perfectionnements dans les accumulateurs ou batteries secondaires.

268 301. **Fraley.** 29 juin 1897. — Perfectionnements dans les chauffeurs électriques.

268 302. **Fraley.** 29 juin 1897. — Perfectionnements dans les appareils de chauffage électrique.

268 304. **The Cox thermo-electric Company Limited.** 29 juin 1897. — Perfectionnements dans les moyens et appareils pour charger les accumulateurs.

268 332) **Rieder.** 30 juin 1897. — Procédé pour reproduire sur métaux les reliefs et formes analogues par voie électrolytique.

268 352. **Farcot.** 1er juillet 1897. — Perfectionnements aux machines dynamos électriques.

268 355. **Elmore**, 1er juillet 1897. — Perfectionnements apportés aux appareils servant à fabriquer les tubes par dépôt électrolytique.

OUVRAGES REÇUS

Il est donné un compte rendu bibliographique de tout ouvrage dont **deux** *exemplaires sont envoyés à la Rédaction.*

Electrical Traction, par Ernest WILSON 1 vol. in-16, 250 pages avec 81 figures, *Edward Arnold*, éditeur, Londres. Prix : 5 francs.

Repertorium der Technischen-Journal-Litteratur, publié sous les auspices de l'office impérial des brevets, année 1896, in-4°. *Carl Heymanns*, éditeur, Berlin. Prix : 24 francs.



L. DESRUELLES

INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR

PARIS, 22, rue Laugier, PARIS

VOLTS-MÈTRES & AMPÈRES-MÈTRES

APÉRIODIQUES, SANS AIMANT

Système breveté S. G. D. G. — Dispositif entièrement nouveau

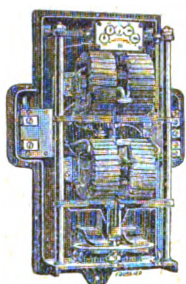
Envoi franco du tarif sur demande.

Compagnie pour la fabrication des Compteurs

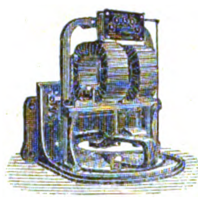
ET MATÉRIEL D'USINES A GAZ, SUCC^r^

16 ET 18, BOULEVARD DE VAUGIRARD

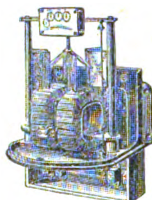
PARIS



Compteur Thomson triphasé.



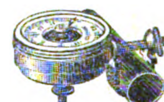
Compteur Thomson ordinaire



Compteur Duncan.



Disjoncteur.



Tachymètre.

COMPTEURS D'EAU

APPLICATIONS GÉNÉRALES DU GAZ & DE L'ÉLECTRICITÉ

E. GUINIER (A. et M. 85-86)

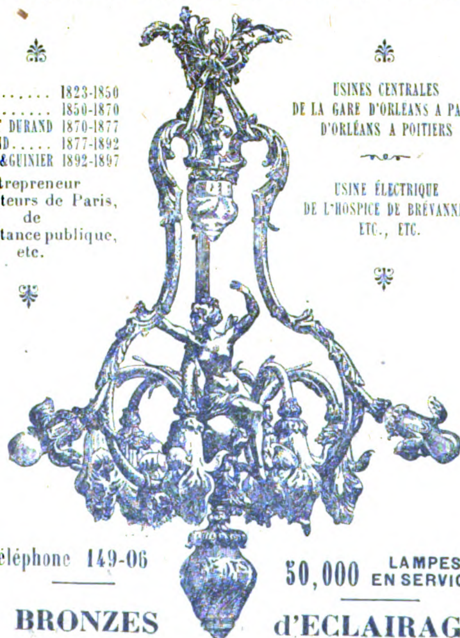
ENTREPRENEUR-CONSTRUCTEUR

PARIS, 36 et 38, rue de TRÉVISE, PARIS

CREUX 1823-1850
TAHAN 1850-1870
TAHAN ET DURAND 1870-1877
A. DURAND 1877-1892
A. DURAND & GUINIER 1892-1897
entrepreneur des secteurs de Paris, de l'Assistance publique, etc.

USINES CENTRALES DE LA GARE D'ORLÉANS A PARIS D'ORLÉANS A POITIERS

USINE ÉLECTRIQUE DE L'HOSPICE DE BRÉVANNES ETC., ETC.



Téléphone 149-06

50,000 LAMPES EN SERVICE

BRONZES d'ECLAIRAGE

Installations complètes.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

L'ACCUMULATEUR TUDOR

Société Anonyme. Capital : UN MILLION

Siège social : 19, rue de Rocroy, Paris

USINES : 59 et 41, route d'Arras, LILLE

BUREAUX TECHNIQUES

11, rue Alsace-Lorraine, Rouen ; 106, rue de l'Hôtel-de-Ville, Lyon

ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE

Tudor Paris, Tudor Lille, Tudor Rouen
Tudor Lyon

Bacs en verre spécial

Moulé pour accumulateurs, brevet Appert

Sans frais de moules pour commandes importantes

MOULAGES EN VERRE POUR L'ÉLECTRICITÉ

Plaques inaltérables de 10 à 35 mm. d'épaisseur en verre blanc dit

***OPALINE,* brevetée s. g. d. g.**

Société de SAINT-GOBAIN, CHAUNY et CIREY

9, *rue Sainte-Cécile, PARIS.*

NOUVELLES

Traction électrique. — Besançon. — Une pétition des habitants de Saint-Ferjeux, Avanne, Aveney, Paincenay, revêtue de cinq cents signatures et demandant l'établissement d'une ligne de tramways électriques de Besançon à Saint-Ferjeux vient d'être déposée à la mairie.

M. Pillard, ingénieur et directeur de la Compagnie des tramways électriques de Besançon, étudie la question. Les charges sont assez importantes pour la Compagnie ; espérons que la ville facilitera la réalisation de cette entreprise.

— Cambrai. — Dans sa dernière séance, le conseil municipal de Cambrai a adopté un projet de convention avec la Société nouvelle d'électricité, doublée de la Société alsacienne des constructions mécaniques, pour l'installation de tramways électriques dans la ville.

Le projet comprend deux lignes :

La ville n'aurait aucune subvention à donner à la société d'exploitation.

L'établissement des voies sera fait par l'État qui en concéderait l'exploitation à la Société nouvelle d'électricité pour une durée de soixante ans au terme desquels lignes et matériel feraient retour à l'État.

Les prix varieront de 10 à 25 centimes. La correspondance serait donnée d'une ligne sur l'autre sans augmentation de prix.

— Elbeuf. — Elbeuf est une des principales cités industrielles de la Normandie, elle contient un vaste groupe d'usines. Et la vie industrielle elle-même produit un mouvement intense dans la ville. Jusqu'à présent, les moyens de transport rapides manquaient, ceci est une cause d'infériorité dans la concurrence internationale. La ville est allongée : 7 km environ sur 2 1/2. La concession pour un service de transport vient d'être rétrocédée à la Compagnie générale de traction de Paris. L'enquête préfectorale a été faite l'an dernier ; les travaux sont en cours d'achèvement. Le réseau est à traction électrique avec conducteur aérien ; il comprend près de 10 km de voie : une ligne dans le sens de la plus grande longueur, coupée par une ligne transversale. Au point de vue de l'exploitation, ce réseau est divisé en cinq sections.

Les lignes sont à voie unique avec garages rapprochés. La largeur de la voie est de 1 m 44.

Les tarifs sont de 15 cent. en 1re classe et 10 en seconde dans la partie urbaine, le double pour la banlieue. Des billets d'aller et retour ne dépassant pas 40 cent. en première et 30 en seconde sont délivrés pour les parcours les plus éloignés. Le matin et le soir, aux instants d'ouverture et de fermeture des ateliers, des trains seront organisés au tarif unique de 10 cent.

— Hyères. — La Société d'horticulture a émis le vœu suivant :

« Considérant que la ville d'Hyères a un intérêt majeur à se trouver en communication directe et répétée aussi souvent que possible avec la ville de Toulon ; que le tracé des tramways électriques par la Garde lui donne sous ce rapport la plus ample satisfaction ; que le tracé assure en outre le service intérieur de la ville, puisqu'il la traverse dans toute sa longueur ; émet le vœu que l'autorisation soit accordée en première ligne à la Compagnie qui présente le tracé par la Garde.

« Considérant en outre que la ville a intérêt à voir se multiplier les voies de communication avec Toulon ; émet le vœu que l'autorisation soit aussi accordée à la Compagnie qui présente le tracé par Carqueiranne. »

Ce vœu va être transmis au conseil général du Var et au conseil municipal d'Hyères.

— Le Havre. — Les travaux du tramway du Havre à Montivilliers ont été adjugés à un entrepreneur lyonnais, M. Monin. Le transport des matériaux nécessaires à la construction de cette ligne, qui aura 14,2 km de longueur, s'effectue rapidement.

Une équipe de 30 hommes commencera les travaux de la voie ; on compte faire 150 m par jour, la voie sera donc achevée probablement en février prochain. Les voitures diffèrent peu de celles qui sont actuellement en service sur les lignes de tramways du Havre, elles se distinguent seulement par des détails d'installation et par les dimensions.

La caisse repose sur deux trucks articulés, en acier, comportant chacun deux essieux montés l'un avec des roues de 80 cm et l'autre avec roues de 55 cm. Les avantages des nouvelles voitures sont une grande stabilité et roulement très doux. Chaque bogie est muni d'un moteur de 20 kilowatts, le poids de la voiture vide est de 9,5 tonnes.

L'usine qui fournira le courant est située sur le boulevard de Graville.

Adjudications, demandes et offres. — Bucharest (Roumanie). — La direction générale des postes et télégraphes roumains demande, avant le 31 courant, des offres pour la fourniture de 25 tonnes de fils téléphoniques en acier galvanisés.

Guipuzcoa (Espagne). — Une ligne de tramways électriques dont la longueur atteindra, y compris les embranchements, 50 à 60 km, est en projet, entre Zumarraga et Zumaya, dans la province de Guipuzcoa. On demande des plans et des devis, à livrer avant le 28 février 1898. S'adresser à Senor Alcalde Aspeitia, Guipuzcoa.

Kattowitz (Allemagne). — La direction de Kattowitz des chemins de fer allemands demande des offres pour la fourniture de charbons de lampes à arc, pour douze mois commençant en mars 1898. Les offres doivent être adressées avant le 29 courant à la Königliche Eisenbahn Direction Kattowitz (Allemagne).

SOMMAIRES DES PÉRIODIQUES

L'Électricien, t. XIV, n° 364 (18 décembre 1897). — Coupe-circuit magnétique et appareillage de sécurité des installations électriques; M. Aliamet. — L'électricité à Paris ; Charles Bos; — Sur la question des compteurs téléphoniques. — Un nouveau chemin de fer électrique. — Emploi de l'électricité dans la fabrication du papier; M. Svilokossitch. — L'électrodéposition de l'or au Transvaal; E. Andréoli. — Eclairage électrique des bâtiments militaires.

L'Industrie Electrique, n° 143 (10 décembre 1897). — Nouvelle locomotive électrique de M. J.-J. Heilmann; E. H. — Transmission d'énergie électrique entre Mechanicville et Schenectady; P. D. — Essai de classification générale des véhicules; E. H. — Les réactions d'induit dans un transformateur tournant; Julien Lefèvre. — Fiacres électriques ; G. Claude. — Emploi de courants alternatifs triphasés à 4 000 volts pour la traction électrique (*suite et fin*); R.-B. Ritter.

Le Génie Civil, t. XXXII, n° 7 (18 décembre 1897). — Les nouvelles installations électriques de la Compagnie parisienne de l'air comprimé; F. Journet. — Etude de la circulation de l'eau dans les chaudières multitubulaires (*suite et fin*) ; H. Brillié. — Nouveau télémètre pour batteries de côte de MM. Cushing Crehore et G. Owen Squier; L. Baclé.

Revue des transports parisiens, n° 10 (15 décembre 1897). — La locomotive électrique, système Heilmann.

The Electrician, t. XL, n° 8 (Londres, 17 décembre 1897). — La protection magnétique des conducteurs; E. Wilson. — Une méthode simple de démarrage des moteurs à courant

alternatif monophasé; Riccardo Arno. — Station centrale électrique à moteurs à gaz de Leyton; H. Robinson. — Monte-charges et grues électriques (Discussion). — La station centrale d'éclairage et de force électrique de Leicester (Midland Railway).

The Electrical World, t. XXX, n° 23 (New-York, 4 décembre 1897). — La station de force et d'éclairage électrique de Flushing. — La station de force et d'éclairage électrique de la Railway and Electric Company à Richmond. — Installation des grands générateurs électriques: G.-T. Hanchett. — Une station centrale moderne en Angleterre. — Appareil inscripteur des quantités électriques périodiques (*suite*); E.-B. Rosa. — Petites usines d'éclairage électrique; Fred'k C. Reeve. — La tendance au développement des stations centrales. — La construction des alternateurs.

Electrical Engineer, t. XXIV, n° 500 (New-York, 2 décembre 1897). — La station centrale de Johannesburg. — La station centrale de Flushing. — Conducteurs souterrains pour éclairage à arc; S.-H. Sharpsteen. — Le remplacement du tramway funiculaire par un tramway à trôlet souterrain à Washington; N.-M. Hopkins. — L'automobile électrique Elieson.

Street Railway Journal, t. XIII, n° 12 (New-York, décembre 1897). — La construction du chemin de fer à caniveau de la Metropolitan Street Railway Company à New-York. — Le tramway électrique d'Alexandrie. — Moteurs de chemins de fer électriques (*suite*); G.-T. Hanchett. — Pleasure Bay, le lieu d'amusement desservi par le chemin de fer électrique d'Atlantic Coast Line. — Caractéristiques financières et organisation administrative du système de transport accéléré à Brooklyn. — Critique du mémoire du Dr Emery, sur les machines pour la traction électrique. — Instruments de contrôle dans les tableaux de distribution des stations centrales; G. Moffat. — Station de force motrice de Harward, à Boston. — L'installation de la Marion City Railway Company. — Réduction dans le prix de revient de la vapeur comme force motrice, de 1870 à 1897; F.-W. Dean. — Construction et emploi des économiseurs; H.-G. Brinckerhoff. — Série de trucks pour tramways électriques. — Lampes de tramways.

Elektrotechnische Zeitschrift, n° 49 (Berlin, 9 décembre 1897). — Moteur d'induction à courant alternatif; C.-P. Steinmetz. — Sur les essais d'isolation dans les installations à courant alternatif; K. Wilkens. — Le rendement électrique des transmetteurs téléphoniques (*suite et fin*); A. Reding. — (N° 50, 16 décembre 1897). — Sur les lampes à arc avec arc renfermé; W. Wedding. — Les moteurs d'induction à courant alternatif (*suite*); C.-P. Steinmetz. — Télégraphe Marconi.

Elektrotechnischer Neuigkeits-Anzeiger, n° 1 (Vienne, 1er décembre 1897). — Contribution à l'étude des accumulateurs. — Méthode Thiermann pour la mesure du coefficient de self-induction d'un conducteur. — Nouveautés en lampes à incandescence. — Une nouvelle lampe électrique de mineur.

Elektrotechnische Rundschau, n° 6 (Frankfort, 15 décembre 1897). — Une combinaison de courants monophasé et polyphasé dpns l'exploitation des tramways électriques à courant alternatif; G.-W. Meyer.

BREVETS D'INVENTION

Liste communiquée par l'Office E. Barrault, 58 bis, *rue de la Chaussée-d'Antin, Paris.*

22 324. **Société de matériel téléphonique G. Aboilard et Cie.** 20 juillet 1897. — Certificat d'addition au brevet pris le 24 juin 1892, pour commutateurs multiples pour bureaux centralisant les fils de lignes de téléphones.

257 593. **Marschner.** 21 juillet 1897. — Certificat d'addition au brevet pris le 26 juin 1896, pour procédé de fabrication de plaques d'électrodes pour accumulateurs d'électricité.

268 357. **Herrburger.** 1er juillet 1897. — Appareil électrique nouveau pour chauffer les liquides ou les maintenir à une température rigoureusement fixe.

OUVRAGES REÇUS

Il est donné un compte rendu bibliographique de tout ouvrage dont **deux** *exemplaires sont envoyés à la Rédaction.*

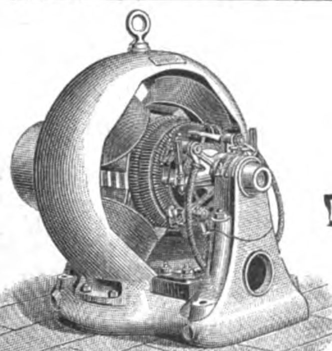
Vocabulaire technique français, anglais, allemand; par M. Svilokossitch, ingénieur civil. Petit volume de 127 pages. *E. Bernard et Cie*, éditeurs, Paris.

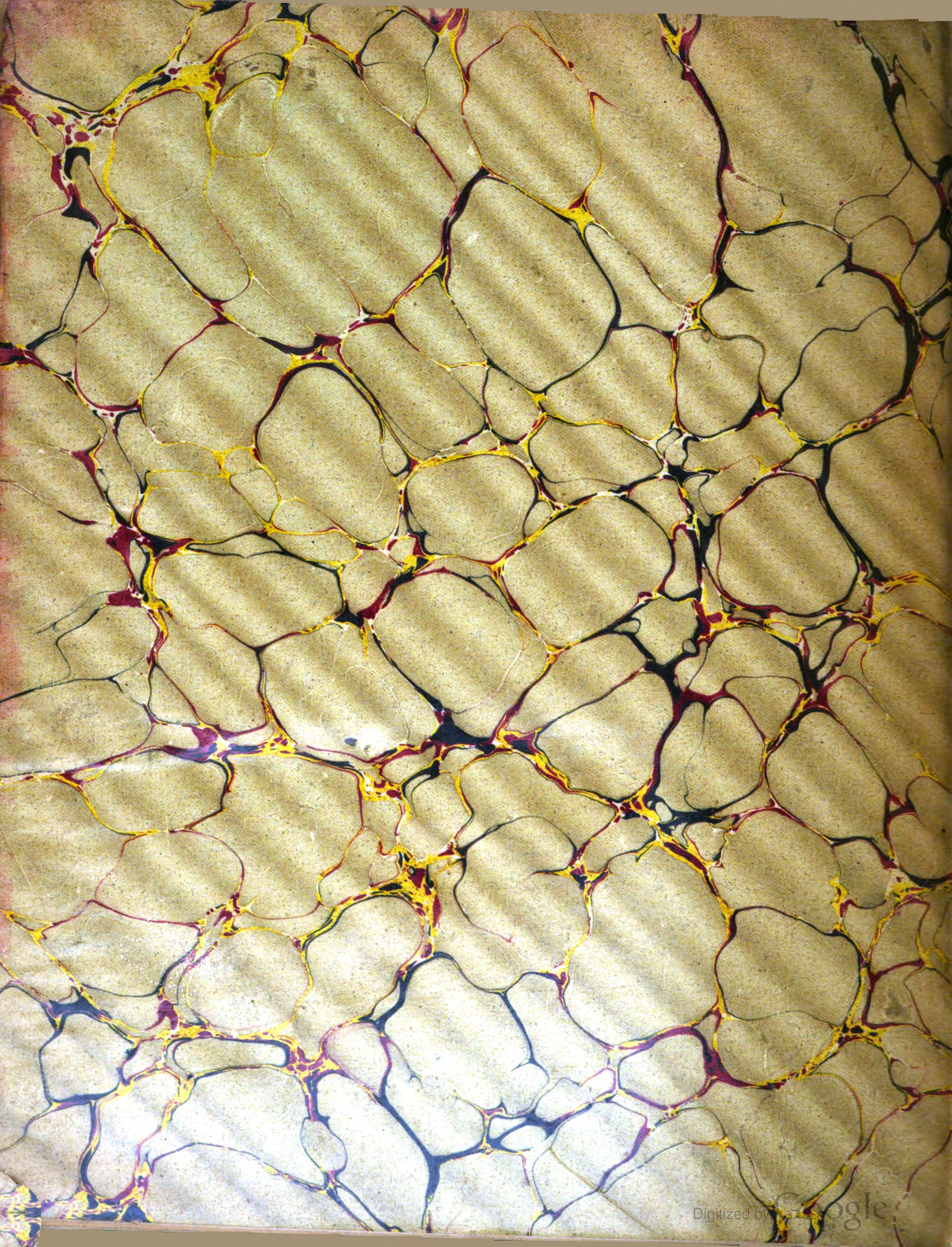
Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'an 1898. In-18 de VI-806 pages avec deux cartes magnétiques. *Gauthier-Villars et fils*, éditeurs. Paris. Prix 1 fr. 50.

Magnetische Kraftfelder, par H. Ebert, professeur de physique à l'Université de Kiel. 2e partie. *A. Barth*, éditeur, Leipzig. Prix 8 fr. 25.

Cours de Physique de l'École Polytechnique, par M. Bouty, professeur à la Faculté des sciences de Paris. Tables générales. *Gauthier-Villars et fils*, éditeurs.








UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 07500 0235

